

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки: 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Профиль: «Электроприводы и системы управления электроприводов»

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Оптимизация системы управления твердотопливным котлом

УДК 621.181.2-66-048.34

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Ж	Тубденов Жаргал Баторович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Шилин Александр Анатольевич	Д.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально- гуманитарных наук	Фигурко Аркадий Альбертович	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения контроля и диагностики	Амелькович Юлия Александровна	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Отделение электроэнергетики и электротехники	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Юрий Николаевич	PhD, к.т.н.		

Томск – 2018 г.

Запланированные результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
P1	<i>Совершенствовать</i> и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.
P2	<i>Свободно пользоваться русским и иностранным языками</i> как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.
P3	<i>Использовать</i> на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.
P4	<i>Использовать</i> представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P5	<i>Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания</i> в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
P6	<i>Ставить и решать инновационные задачи</i> инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.
P7	<i>Выполнять инженерные проекты</i> с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.
P8	<i>Проводить инновационные инженерные исследования</i> в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.
P9	<i>Проводить технико-экономическое обоснование</i> проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.
P10	<i>Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы</i> электроэнергетического и электротехнического оборудования.
P11	<i>Осваивать новое</i> электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.
P12	<i>Разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию</i> в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки: 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Профиль: «Электроприводы и системы управления электроприводов»

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель отделения ООП/НОЦ

_____ Дементьев Ю.Н.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерская диссертация

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ6Ж	Тубденову Жаргалу Баторовичу

Тема работы:

Оптимизация системы управления твердотопливным котлом	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	07.02.2018 №795/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
------------------------------------------	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	1	Схема и параметры элементов электропривода.
	2.	Програмное обеспечение «MATLAB Simulink»

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1. Аналитический обзор литературы с целью определения методов построения систем управления котлами 2. Описание твердотопливного котла. 3. Построение алгоритмов работы
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Блок схема электромеханической системы с регулируемым асинхронным двигателем и преобразователем частоты. 2. Структурная схема твёрдотопливного котла 3. Логическая схема управления сигналами 4. Схема для моделирования 5. Результаты моделирования
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент отделения социально-гуманитарных наук, к.э.н. Фигурко Аркадий Альбертович
Социальная ответственность	Доцент отделения контроля и диагностики, к.т.н. Амелькович Юлия Александровна
Раздел на иностранном языке	Старший преподаватель. Соколова Эльвира Яковлевна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Введение	
Разработка математических моделей технологического процесса и технологического оборудования с исполнительными электроприводами	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
-------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Шилин Александр Анатольевич	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Ж	Тубденов Жаргал Баторович		

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки: 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Профиль: «Электроприводы и системы управления электроприводов»

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10.06.2018
------------------------------------------	------------

Дата контроля	Название раздела/ вид работы	Максимальный балл раздела, %
01.02.2018	1. Установки твердотопливных котлов	8
18.02.2018	2. Построение логических блок – схем управления	12
18.04.2018	3. Математическое моделирование электропривода вентилятора и шнекового транспортера	13
24.05.2018	4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
28.05.2018	5. Социальная ответственность	10
30.05.2018	6. Раздел, выполняемый на иностранном языке	10
8.06.2018	Выполненная магистерская диссертация	100

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Шилин Александр Анатольевич	д.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель отделения	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Юрий Николаевич	PhD, к.т.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 107 страниц, 23 таблицы, 31 рисунок, 21 источников, 4 приложения.

Ключевые слова: ТВЁРДОЕ ТОПЛИВО, АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОТЁЛ, ШНЕКОВЫЙ ТРАНСПОРТЁР, ВЕНТИЛЯТОР, ПРОГРАММИРУЕМЫЙ ЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЛЕР.

Во введении отмечена причина актуальности данной работы, заключённая в климатических условиях большинства регионов России и отсутствии их газификации.

Объектом исследования выступил твердотопливный котел, разрабатываемый сотрудниками научно – производственным объединением «ВЭСТ».

В аналитическом обзоре литературы приведено сравнение между имеющимися конструктивными решениями котлов и их системами управления

Предложено техническое решение, в котором приведены основные узлы разрабатываемой установки и их принцип работы.

Основной измеряемой технологической переменной является температура, измеряемая в теплообменнике и шнековом транспортере с помощью выбранных датчиков.

Автоматизированная система управления строится на базе программируемого логического контроллера. Связь контроллера с высоким уровнем будет производиться при помощи интерфейса, построенном на протоколе ModBus RTU.

В разделе разработки математических моделей построена модель твердотопливного котла и блок – схема алгоритмов его работы.

В разделе социальной ответственности исследован вопрос охраны труда. Также выполнено экономическое обоснование разрабатываемого технического решения.

По данной работе имеется публикация в научном журнале Иркутского национально исследовательского технического университета на тему «Разработка автоматизированной системы управления твердотопливным котлом». Выступление с данным докладом проводилось в рамках конференции «Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири» в 2018 году и отмечено дипломом II степени.

Оглавление

Введение	13
1. Определение основных элементов и принципа работы системы.	15
1.1 Объект исследования	15
1.2 Литературный обзор.....	16
1.3 Предлагаемое техническое решение	20
2. Обоснование принципа реализации электропривода	23
2.1 Выбор электродвигателя.....	23
2.2 Расчет параметров электродвигателя	24
2.3 Выбор преобразователя	28
2.4 Определение параметров силовой цепи.....	28
2.5 Расчет механических и электромеханических характеристик электропривода.....	29
2.6 Выбор функциональной и структурной схемы электропривода	35
2.7 Имитационная модель электропривода	36
3. Измеряемые переменные и технические устройства	39
3.1 Составление перечня измеряемых технологических переменных.....	39
3.2 Разработка комплекса технических средств АСУ ТП.....	40
3.3 Выбор программируемого логического контроллера.....	42
3.4 Выбор средств связи.....	43
3.5 Выбор датчиков	44
4. Разработка математических моделей технологического процесса и технологического оборудования с исполнительными электроприводами	46
4.1 Разработка алгоритмов функционирования системы управления технологическим оборудованием.....	48
4.2 Результат моделирования	52
Вывод.....	53
5. Финансовый менеджмент, ресурсосбережение и ресурсоэффективность	54
ВВЕДЕНИЕ.....	54

5.1	Предпроектный анализ	54
5.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	54
5.1.2	Организационная структура проекта	56
5.1.3	Технология QuaD	56
5.1.4	SWOT-анализ.....	58
5.2	Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	59
5.2.1	Структура работ в рамках научного исследования	59
5.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ	60
5.2.3	Разработка графика проведения научного исследования	61
5.2.4	Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	63
5.2.5	Основная заработная плата исполнителей темы	64
5.2.6	Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	66
5.2.7	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	66
5.2.8	Накладные расходы	67
5.2.9	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	68
5.3	Определение ресурсоэффективности проекта.....	69
Вывод		70
6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ		71
6.1	Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды	72
6.1.1	Микроклимат	72
6.1.2	Шум	74
6.1.3	Освещение.....	75
6.1.4	Электромагнитные поля	79
6.2	Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды	81
6.2.1	Опасность поражения электрическим током	81
6.3	Экологическая безопасность	81
6.4	Анализ вероятных ЧС и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС	83
6.5	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	85
Вывод		86
Список использованных источников		87

Публикации	89
Приложение А	90
Introduction	91
Measured process variables	92
Design of the automatic control systems of an object	92
Development of mathematical models of technological process and technological equipment with executive electric drives.....	96
Development of algorithms for the performance of operation system of processing equipment.....	98
Conclusion.....	103
Приложение Б	104
Приложение В	106
Приложение Г	107

Введение

В Сибири, как и во многих других регионах, где на отопление зданий требуются значительные топливно-энергетические ресурсы, современные системы отопления должны работать на качественно высоком уровне, то есть количество теплоты, подаваемое в каждое помещение здания для поддержания комфортного температурного режима, должно определяться текущей потребностью. И так как газификация восточных регионов Сибири в ближайшее время не планируется, проблема теплоснабжения отдаленных населенных пунктов стоит достаточно остро. Топливом для печей, чаще всего используемых в домах, не подключенных к центральному отоплению и обладающими низким коэффициентом полезного действия, служат дрова и уголь. Поэтому предложение в качестве альтернативы устаревшим печам котлами с автоматизированной системой управления, топливом которых служат тот же уголь, опилки и пеллеты, производимых с каждым годом все больше [1], является актуальным.

Комплексная автоматизация системы отопления включает местное и дистанционное регулирование параметров теплоносителя в тепловом пункте, индивидуальное управление подачей теплоты от отопительных приборов системы, а также автоматическое поддержание заданной температуры в трубопроводной сети системы. Индивидуальное регулирование позволяет: поддерживать комфортную температуру воздуха в отапливаемых помещениях на уровне, заданном потребителем, экономить более 20 % тепловой энергии за счет снижения температуры воздуха в ночное время и в периоды, когда здание не эксплуатируется; снижать количество выбросов в атмосферу продуктов сгорания топлива, расходуемого на выработку тепловой энергии [2].

При разработке автоматизации систем отопления, следует учитывать, что управление обогревом может осуществляться по температуре: теплоносителя; воздуха в доме. Системы регулирования, построенные на контроле температуры теплоносителя, работают с высокой инерционностью

процесса, низкой эффективностью и малой экономичностью. Лучшие результаты показывает автоматическая система отопления, работающая на поддержание установленной температуры в доме.

1. Определение основных элементов и принципа работы системы.

1.1 Объект исследования

Объектом исследования является твердотопливный котел с автоматической подачей топлива, разрабатываемый сотрудниками научно – производственным объединением «ВЭСТ».

У котла имеется две основные камеры – сгорания и зольник. В камеру сгорания нагнетается воздух и попеременно подается твердое топливо, где оно сжигается послойно. Это наиболее подходящий принцип сжигания кускового твердого топлива. Две камеры разделены между собой зольной решеткой, через которую проходят отходы горения. В дымоход воздушный насос не установлен, так как естественной тяги достаточно для котлов индивидуального пользования.

Система индивидуального отопления представляет из себя совокупность таких единиц элементов, как твердотопливный котел, накопительный бак, стояк, циркуляционные насосы и батареи. В качестве теплоносителя используется вода под рабочим давлением в 0,15 – 0,2 МПа, и нагреваемая до 90 °С [3]. Котел имеет сеть труб, по которым циркулирует теплоноситель, находящейся в камере сгорания. Первый контур теплоносителя замыкается между котлом и теплообменником, где тепловая энергия передается второму контуру теплоносителя.

Во втором контуре имеется накопительный бак, имеющий достаточный объем для небольшого потребления в состоянии выключенных циркуляционных насосов, и также служащий для защиты от гидроудара в трубопроводе, возникающий в случае попадания воздуха в него.

1.2 Литературный обзор

Для обогрева жилищных помещений, складских площадей использование индивидуальных водогрейных твердотопливных котлов является распространённой практикой с середины прошлого века, и так как они являются достойной альтернативой традиционным печам и централизованному отоплению, где не производится своевременное обновление водопроводных труб, клапанов, совершенствование их идет и по сей день. Об этом говорит большое количество конкурентоспособных производителей твердотопливных котлов с различными конфигурациями и преследуемыми целями применения и трудов, опубликованных в различных специализированных ресурсах, которые находят пути решения проблем современных котлов. Основной задачей данного раздела является поиск данных решений и применение их к данной работе.

К началу поиска необходимо сформировать основные ключевые слова. Выбор ключевых слов является важной задачей, так как неверный их выбор может являться причиной того, что будет найдена неподходящая статья, либо материала не будет найдено вовсе. Основываясь на обозначенную тему работы и ее проблемы обозначены следующие ключевые слова: «твердотопливный котёл/solid fuel boiler»; «система управления/control system»; «оптимизация/optimization».

Основными источниками, в которых производился поиск, были российские и международные патентные базы (<http://www1.fips.ru>, <http://ru.espacenet.com/>), крупнейшая в мире база рефератов и цитирования – Scopus, политематические реферативно-библиографические и наукометрические (библиометрические) базы данных – Web of Science и Elibrary. На основании поисковых запросов были выделены следующие, наиболее подходящие источники, которые рассматривают пути оптимизации современных твердотопливных котлов.

Самым простейшим из ныне производимых твердотопливных котлов является котел с конфигурацией «топка-зольник», показанный на рисунке 1. Он не рассчитан на длительное время работы, так как подача топлива в камеру производится вручную, а подача воздуха в топку происходит естественным путем, то есть регулированием угла открытия воздушной заслонки. Коэффициент полезного действия данных котлов низок в связи с неполным получением необходимого объема воздуха, что влечет к низкой степени и температуре сгорания топлива, и далее к закоксовыванию внутренней поверхности камеры сгорания. Причина, по которой котлы данной конфигурации все еще на рынке – это низкая стоимость сравнительно с аналогами, о которых будет сказано ниже.



Рисунок 1 – Твердотопливный котёл с конфигурацией «топка - зольник»

Следующим логичным ходом развития технологий производства твердотопливных котлов является установка электрического вентилятора и загрузочного бункера с топливом. Подача воздуха в камеру сгорания посредством вентилятора избавляет от проблем с регулировкой воздушной заслонки и подачей малого объема воздуха в топку. Загрузочный бункер играет роль бесперебойного питателя топливом котла. Наиболее

распространённым и безопасным способом доставки топлива в топку из бункера служит порционная доставка при помощи шнекового транспортера, приводимый в движение асинхронным электроприводом [4]. Валы шнека и асинхронного электродвигателя связаны цилиндрическим понижающим редуктором.

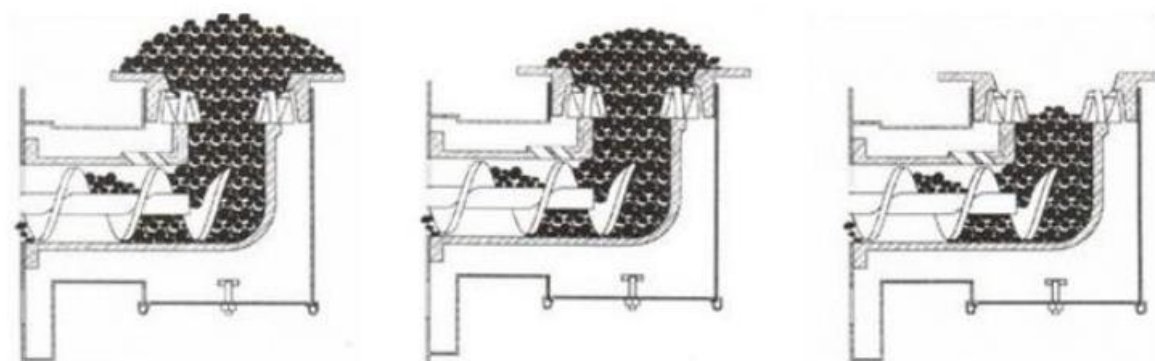


Рисунок 2 – Процесс подачи топлива в камеру сгорания

Главным недостатком конструкции котла с применением нагнетателя воздуха и шнекового транспортера является зависимость данных систем от электрической сети. При отсутствии электропитания автоматическая подача топлива и воздуха прекращается, что приведёт к остановке выработки тепла без вмешательства посторонней помощи человека.

Решением из области автоматизации служит метод, при котором применяется частотно-регулируемый электропривод вентилятора [5], так как температура в камере сгорания напрямую зависит от поступающего в него объема воздуха. Необходимость применения частотно-регулируемого вентилятора обусловлена прежде всего набором рабочей температуры теплообменника. Поскольку процесс нагрева воды имеет высокую инерционность, при подходе температуры теплообменника к заданной, требуется снижать скорость вращения вентилятора, чтобы избежать перегрева. Далее, для поддержания заданной температуры вентилятор будет вращаться на пониженной скорости.

Одним из самым распространенных методов управления электроприводом вентилятора, в случае, где требуется регулировка скорости вращения при изменении внешних воздействий, является метод управления с помощью ПИ – регулятора. Однако, всё чаще встречаются научные работы по теме автоматического управления применительно к котлам с нечеткими регуляторами/fuzzy controllers [6]. Рассмотренный класс обучаемых нечетких регуляторов способен приобретать знания о поведении объекта и системы, далее на их основе выводить сигналы управления, при которых ошибка регулирования не превышает допустимых значений. Эти системы обладают быстрой реакцией на возмущения, и при проведении большого количества случаев во время обучения системы способны находить наиболее выгодный исход откликов системы [7].

Ссылаясь на опубликованные научные статьи прошлых лет, утверждено, что работы по данной тематике пользуются интересом у разработчиков. Аналогичных решений с разрабатываемой системой управления не найдено.

На основе проанализированного материала принято решение использовать в работе классический метод автоматического управления. Отказ от систем с нечетким регулятором обусловлен сложностью реализации и требованием длительного обучения, что не является недостатком при использовании нечетких регуляторов для котлов с большой мощностью, применяемых для целого комплекса помещений, так как влияние возмущений велико в сравнение с котлами, рассчитанными на индивидуальные нужды.

1.3 Предлагаемое техническое решение

В данном разделе будет реализовано техническое решение задач по оптимизации системы управления твердотопливными котлами, поставленных в диссертации, на основании проанализированной литературы. Основные узлы котла изображены на рисунке 3.

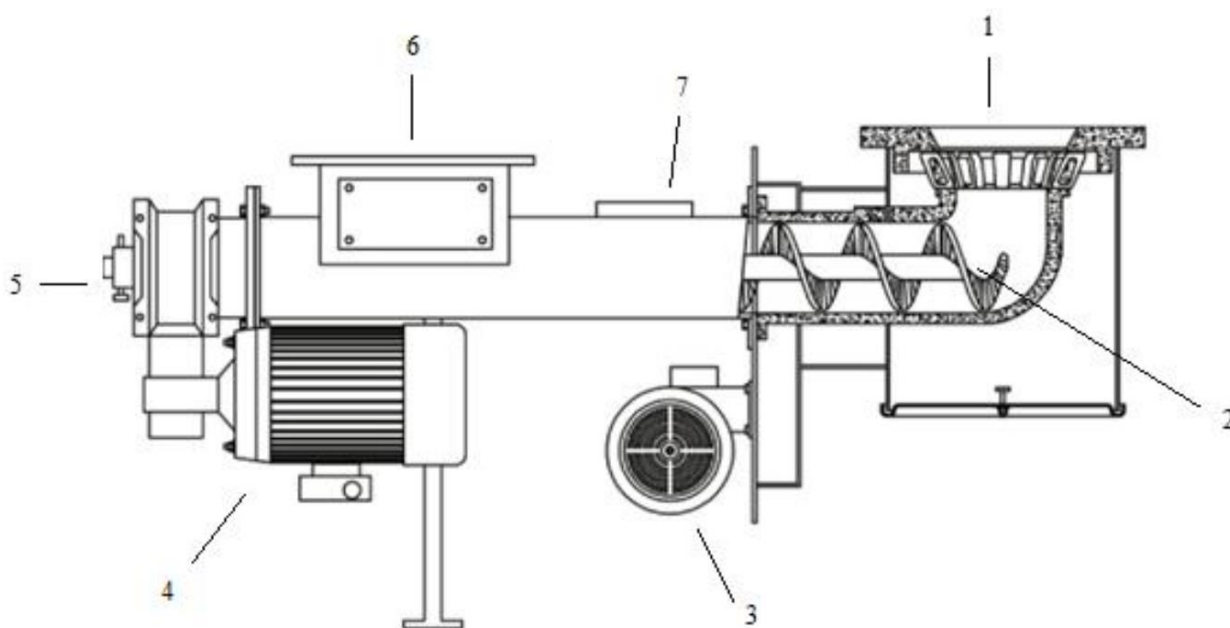


Рисунок 3 – Узел подачи топлива и нагнетания воздуха в камеру сгорания

1. Автоматическая ретортная горелка
2. Шнековый транспортер
3. Надувной вентилятор
4. Электродвигатель
5. Понижающий редуктор
6. Топливный бункер
7. Датчик температуры

В данной работе применена конструктивная конфигурация основных узлов, являющейся наиболее эффективной для твердотопливных котлов и выполняющая такие функции, как:

- бесперебойная доставка топлива в камеру сгорания посредством шнекового транспортёра;

- нагнетание воздуха вентилятором для полного обогащения топлива кислородом.

Топливо, находящееся в бункере 6, поступает в шнековый транспортер при открытом шлюзе, который в случае нагрева транспортера, перекрывает путь топливу, чтобы избежать его возгорания.

Твердотопливный котел использует принцип сжигания содержимого топки не снизу вверх, когда проникающие вверх горячие газы захватывают все новые слои топлива, а сверху вниз. В таком случае, сгорание топлива происходит медленнее, при большем выделении тепла.

Перед подачей в зону пламени, воздух нагревается и во время работы подается точно к очагу высокой температуры, не достигая нижних слоев. По мере сгорания слоя зона огня перемещается вниз. Подогретый воздух обеспечивает наиболее полное сжигание горючих материалов, с минимальными остатками золы и сажи. Котлы длительного горения работают на пеллетах, дровах, угле, торфе и опилках.

Теплообменник имеет от трёх до пяти последовательно расположенных ходов, что обеспечивает эффективный отбор тепла у дымовых газов. Температура выходящих газов в теплообменнике составляет 80–110°C. Основной отбор тепла в топке происходит теплообменником, а также шнековым транспортёром и корпусом котла.

Мощность исследуемого котла напрямую зависит от объема нагнетаемого воздуха в камеру сгорания и частоты подачи топлива в топку. Для оптимизации этих процессов введены два рабочих режима котла:

- Режим работы;
- Режим ожидания.

Также предусмотрен аварийный режим, предотвращающий превышение заданной температуры теплоносителя и топлива, находящегося в шнековом транспортере.

В режиме работы время подачи топлива составляет $t_{ш1} = 4,5$ с, а время паузы $t_{пз1} = 45$ с. Вентилятор непрерывно подает воздух в топку, скорость его вращения составляет $\omega_{в1} = 50$ рад/с. Реализация этих процессов изложена в главе моделирования системы управления котлом.

В режиме ожидания, когда заданная температура достигнута, увеличивается время паузы между дозированными подачами топлива до $t_{пз2} = 300$ с, вентилятор начинает работать попеременно со временем включения $t_{в} = 4,5$ с и паузы $t_{пв} = 300$ с и скоростью вращения $\omega_{в2} = 15$ рад/с.

Аварийный режим возникает в двух случаях:

1. Если температура теплоносителя превышает $T_{АК} = 120^{\circ}\text{C}$. В таком случае начинается полный выдув топлива из топки.
2. Если температура шнекового транспортера превышает $T_{Аш} = 90^{\circ}\text{C}$. Для предотвращения возгорания топлива, находящегося вне топки – в шнеке и загрузочном бункере, система управления подает сигнал на двигатель шнека для полного опустошения от топлива в транспортере.

2. Обоснование принципа реализации электропривода

В качестве основного исполнительного механизма твердотопливного котла используется радиальный вентилятор. Данный электропривод не требует большой точности при управлении технологическим процессом. Согласно ТЗ требуется обеспечить диапазон регулирования 1:10.

На основании вышеперечисленных данных, было принято решение использовать частотный электропривод со скалярным управлением.

2.1 Выбор электродвигателя

На основании требуемой производительности вентилятора для твердотопливного котла с автоматической подачей топлива выбран нагнетающий вентилятор *Elektrotor S-LP 160/62*, имеющий следующие параметры:

- номинальная скорость вращения 2840 об/мин;
- номинальная производительность 22,5 м³/мин;
- номинальное давление 850 Па.
- номинальный КПД 75 %;

Насос обладает осевым всасывающим каналом и радиально-расположенным выдувающим каналом с клапаном обратного хода. У вентилятора не имеется легковоспламеняющихся конструктивных элементов.

Технические характеристики выбранного двигателя радиального вентилятора приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры асинхронного двигателя

$P_{ном},$ кВт	$n_{ном},$ об/мин	КПД, %	Коэф. мощности	$I_{ном},$ А	$M_{пуск}/$ $M_{ном}$	$I_{пуск}/$ $I_{ном}$	$M_{макс}/$ $M_{ном}$	$J, \text{кг}\cdot\text{м}^2$
0,55	2760	75	0,85	2,1	2,2	5	2,2	0,0009

2.2 Расчет параметров электродвигателя

Синхронная угловая скорость вращения двигателя:

$$\omega_c = \frac{\pi \cdot n_c}{30} = \frac{3,14 \cdot 3000}{30} = 314,159 \text{ рад / с}$$

Номинальная частота вращения двигателя:

$$n_{\text{дв.н}} = 2760 \text{ об / мин}$$

Номинальная угловая скорость:

$$\omega_{\text{дв.н}} = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{3,14 \cdot 2760}{30} = 289,02 \text{ рад / с}$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв}}}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{550}{289,02} = 1,903 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Тогда номинальный фазный ток:

$$I_{\phi_n} = \frac{P_{\text{дв}}}{m \cdot U_{\phi} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{550}{3 \cdot 220 \cdot 0,85 \cdot 0,75} = 1,307 \text{ А}$$

Для расчетов статических и динамических характеристик асинхронного двигателя необходимо найти параметры схемы замещения. Т – образная схема замещения асинхронного двигателя для одной фазы приведена на рисунке 4.

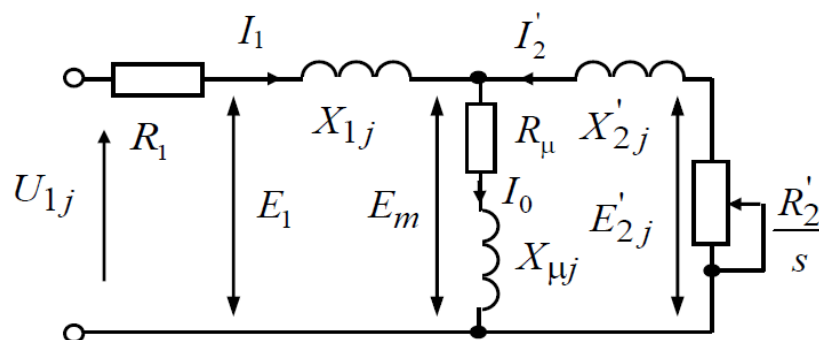


Рисунок 4 - Схема замещения асинхронного двигателя

Асинхронные двигатели проектируются таким образом, что наибольший КПД достигается при загрузке на 20 – 25 % меньше номинальной.

Коэффициент мощности при нагрузке равной значительно отличается от мощности при номинальной нагрузке. Коэффициент загрузки двигателя принимается $p^* = 0,75$ из-за указанных выше особенностей проектирования асинхронных двигателей [9].

Тогда ток статора двигателя при частичной загрузке равен:

$$I_{11} = \frac{p^* \cdot P_{\text{ов}}}{m \cdot U_{\phi} \cdot \cos \varphi_{p^*} \cdot \eta_n} = \frac{0,75 \cdot 550}{3 \cdot 220 \cdot 0,84 \cdot 0,75} = 0,98 \text{ A}$$

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(\frac{p^* \cdot I_{\phi n} \cdot (1 - S_n)}{1 - p^* \cdot S_n} \right)^2}{1 - \left(\frac{p^* \cdot (1 - S_n)}{1 - p^* \cdot S_n} \right)^2}} = \sqrt{\frac{0,839^2 - \left(\frac{0,75 \cdot 1,307 \cdot (1 - 0,09)}{1 - 0,75 \cdot 0,09} \right)^2}{1 - \left(\frac{0,75 \cdot (1 - 0,09)}{1 - 0,75 \cdot 0,09} \right)^2}} = 0,296 \text{ A}$$

Из формулы Клосса следует соотношение для расчета критического скольжения:

$$S_{кр.} = S_n \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - (1 - 2 \cdot S_n \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1))}}{1 - 2 \cdot S_n \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)} =$$

$$= 0,09 \cdot \frac{2,2 + \sqrt{2,2^2 - (1 - 2 \cdot 0,09 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,09 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1)} = 0,482 \text{ o.e}$$

где в первом приближении коэффициент $\beta = 1$

Критическое скольжение:

$$S_k = \pm \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_k^2}} = \pm \frac{16,688}{\sqrt{17,263^2 + 31,183^2}} = \pm 0,468$$

Максимальный момент двигателя:

$$M_{\max} = k_{\max} \cdot M_n = 2 \cdot 1,903 = 3,806 \text{ H} \cdot \text{м}$$

Минимальный момент двигателя:

$$M_{\min} = k_{\min} \cdot M_n = 1 \cdot 1,903 = 1,903 \text{ H} \cdot \text{м}$$

Предварительно для расчёта активных и индуктивных сопротивлений (параметров схемы замещения) обмоток статора и ротора определяются следующие коэффициенты [9]:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{\phi n}} = 1 + \frac{0,296}{2 \cdot 5 \cdot 1,307} = 1,023$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{\phi}^2 \cdot (1 - S_n)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_{\text{ог}}} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,09)}{2 \cdot 1,023 \cdot 2 \cdot 550} = 37,755$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя:

$$R'_2 = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{S_{\text{кр}}} \right) \cdot C_1} = \frac{37,775}{\left(1 + \frac{1}{0,468} \right) \cdot 1,023} = 14,566 \text{ Ом}$$

Активное сопротивление обмотки статора определяется по следующему выражению:

$$R_1 = C_1 \cdot R'_2 \cdot \beta = 1,023 \cdot 14,566 \cdot 1 = 23,088 \text{ Ом}$$

Параметр γ , для определения сопротивления короткого замыкания:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{S_{\text{кр}}^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,468^2} - 1^2} = 1,377$$

$$X_{\kappa} = \gamma \cdot C_1 \cdot R'_2 = 1,377 \cdot 1,023 \cdot 14,566 = 20,519 \text{ Ом}$$

Тогда, индуктивное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора, приближённо может быть рассчитано:

$$X'_2 = 0,58 \cdot \frac{X_{\kappa}}{C_1} = 0,58 \cdot \frac{20,519}{1,023} = 11,637 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление обмотки статора:

$$X_1 = 0,42 \cdot X_{\kappa} = 0,42 \cdot 20,519 = 8,618 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление цепи намагничивания определяется через значение ЭДС обмотки статора

$$E_1 = \sqrt{(U_\phi \cdot \cos \varphi_n - R_1 \cdot I_{\phi n})^2 + (U_\phi \cdot \sin \varphi_n - X_1 \cdot I_{\phi n})^2} =$$

$$= \sqrt{(220 \cdot 0,85 - 23,088 \cdot 1,307)^2 + (220 \cdot 0,543 - 8,618 \cdot 1,307)^2} =$$

$$= 188,518 \text{ В}$$

Индуктивное сопротивление намагничивания:

$$X_m = \frac{E_1}{I_0} = \frac{188,518}{0,296} = 636,4 \text{ Ом}$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре, создаваемым суммарным действием полюсов статора (индуктивность контура намагничивания) [10]:

$$L_m = \frac{X_m}{2\pi f} = \frac{636,4}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 2,026 \text{ Гн}$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоками рассеяния:

$$L_{1\delta} = \frac{X_1}{2\pi f} = \frac{8,618}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,027 \text{ Гн}$$

Итоговая индуктивность обмотки статора:

$$L_1 = L_{1\delta} + L_m = 0,027 + 2,026 = 2,296 \text{ Гн}$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоками рассеяния:

$$L'_{2\delta} = \frac{X'_2}{2\pi f} = \frac{11,637}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,037 \text{ Гн}$$

Итоговая индуктивность обмотки ротора:

$$L_2 = L_{2\delta} + L_m = 0,037 + 0,091 = 2,396 \text{ Гн}$$

Найденные параметры схемы замещения электродвигателя сведены в таблицу 2.

Таблица 2 - Параметры схемы замещения электродвигателя

R_l , Ом	L_l , Гн	R'_2 , Ом	L'_2 , Гн	L_m , Гн
23,088	2,296	14,566	2,396	2,026

2.3 Выбор преобразователя

На основании мощности двигателя центробежного насоса, был выбран преобразователь частоты *Danfoss VLT 2811* мощностью $1,1 \text{ кВт}$ [11];

Основные параметры частотного преобразователя:

- Скалярное управление с компенсацией скольжения
- Настраиваемая U/f характеристика для специальных режимов двигателя
- Регулирование скорости без датчика скорости (sensorless)
- Автоматический пропуск 2-х резонансных частот
- ПИД-контроллер процесса
- Выходная частота: 0-1000 Гц
- Векторное и скалярное управление двигателем
- Пусковой момент (постоянный момент) Максимум 160% в течение 60 сек
- функции защиты двигателя
- Функции точной остановки с компенсацией скорости
- Точный останов
- Автоматическая подстройка двигателя
- Максимальная длина неэкранированного моторного кабеля 75 м
- 1 аналоговый вход 0 - 10 В по напряжению или 0 - 20 мА по току (масштабируемый);
- 1 аналоговый вход 0-20 мА по току (масштабируемый);
- Встроенный источник питания 24V/10V для датчиков/логики
- 1 реле ~240 В переменное, 2 А;
- 1 аналоговый выход 0-20 мА по току;
- 5 программируемых цифровых входов;
- Частота импульсного входа 4 - 67600 Гц;

2.4 Определение параметров силовой цепи

С учетом ШИМ выходного напряжения инвертора

Напряжение питающей сети $U_c=(380 - 420) \text{ В}$.

Частоту $f_{\text{шим}}=5000 \text{ Гц}$ и период $T_{\text{шим}}=1/f_{\text{шим}}=0,0002 \text{ с}$. ШИМ выходного напряжения инвертора учитываем в системе управления инвертора и в системе управления электроприводом [10].

2.5 Расчет механических и электромеханических характеристик электропривода

Расчет характеристик производим, используя параметры схемы замещения.

Найдем синхронную угловую скорость:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{1} = 314,159 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Рассчитаем и построим естественную электромеханическую характеристику:

$$I_1(\omega) = \sqrt{I_0^2 + I_2(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2(\omega) \cdot \sin \left[\frac{X_{1H} + X'_{2H}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}} \right)^2 + (X_{1H} + X'_{2H})^2}} \right]}$$

где $I_2^I(\omega)$ - значение приведенного тока ротора от скольжения:

$$I_2' = \frac{U_{1H}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{\frac{\omega - \omega_0}{\omega_0}} \right)^2 + (x_{1H} + x'_{2H})^2}}$$

По вышеприведенным формулам рассчитываются естественные электромеханические характеристики $I_2^I(\omega)$ $I_1(\omega)$ (рисунок 5).

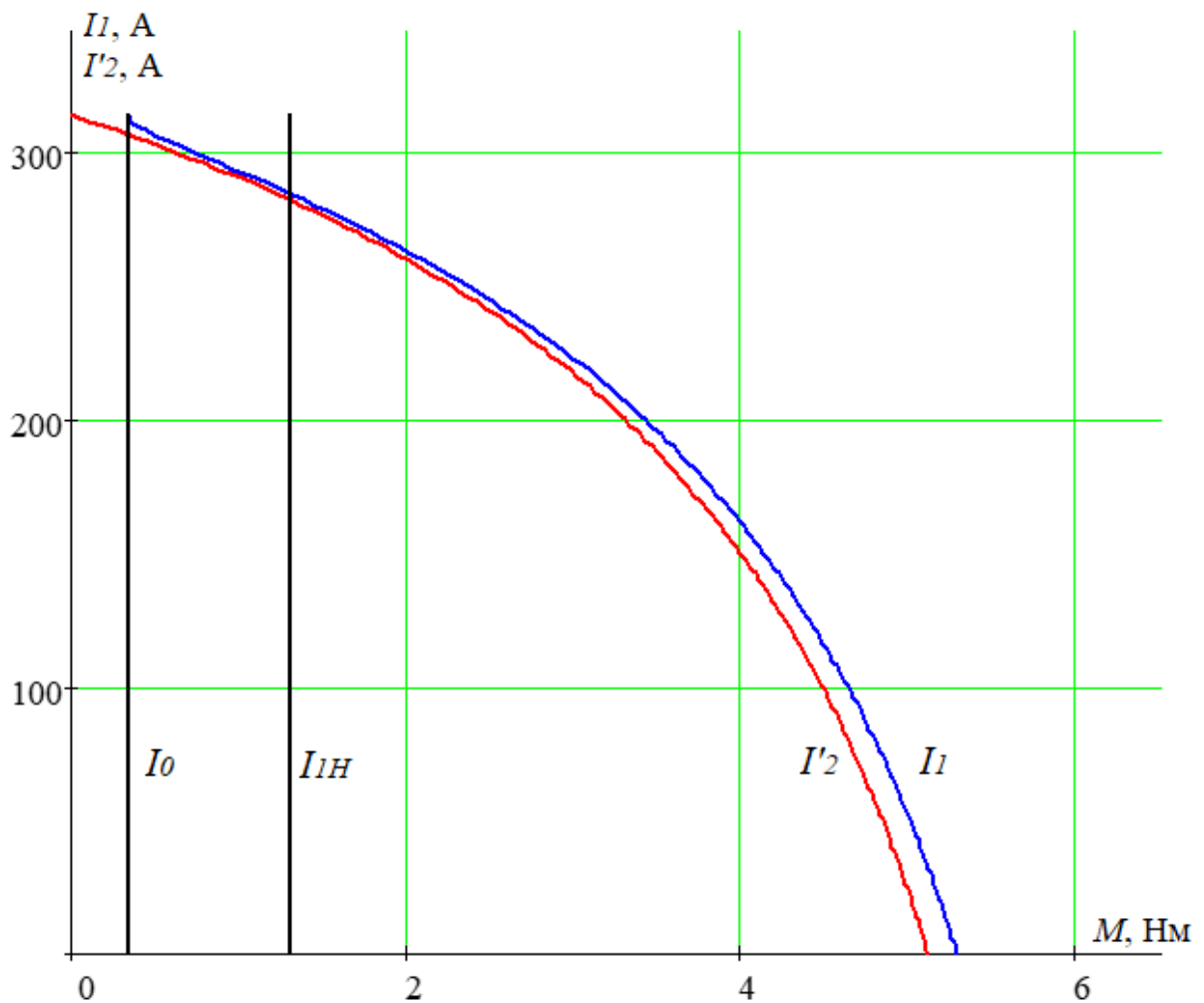


Рисунок 5 - Естественные электромеханические характеристика для тока ротора $I'_2(\omega)$ и статора $I_1(\omega)$

На рисунке 5 отмечены параметры электромеханической характеристики:

- пусковой ток двигателя, рассчитанный по паспортным данным:

$$I_{п.р} = k_i \cdot I_{1н} = 4,909 \text{ A};$$

- пусковой ток двигателя, рассчитанный по схеме замещения:

$$I_{п} = 5,47 \text{ A};$$

- скорость холостого хода двигателя: $\omega_0 = 314,159 \text{ рад/с}$;

- ток холостого хода двигателя $I_0 = 0,296 \text{ A}$;

- номинальный ток статора двигателя: $I_{1н} = 1,307 \text{ A}$;

Рассчитаем и построим естественную механическую характеристику $M(\omega)$ (рисунок 7) по следующей формуле:

$$M(\omega) := \frac{3 \cdot U_{1H}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}} \right)^2 + X_{KH}^2 \right]}$$

На рисунке 7 отмечены следующие параметры механической характеристики:

- номинальная скорость:

$$\omega_{\text{НОМ}} = 289,02 \text{ рад/с};$$

- номинальный момент:

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв}}}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{850}{294,263} = 1,903 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

- критический момент двигательного режима:

$$\begin{aligned} M_{\text{кр.}} &= \frac{m \cdot U_{1\phi}^2}{2 \cdot \omega_n \cdot C_1 \cdot \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_k^2} \right]} = \\ &= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 289,02 \cdot 1,023 \cdot \left[23,088 + \sqrt{23,088^2 + 20,519^2} \right]} = 4,271 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

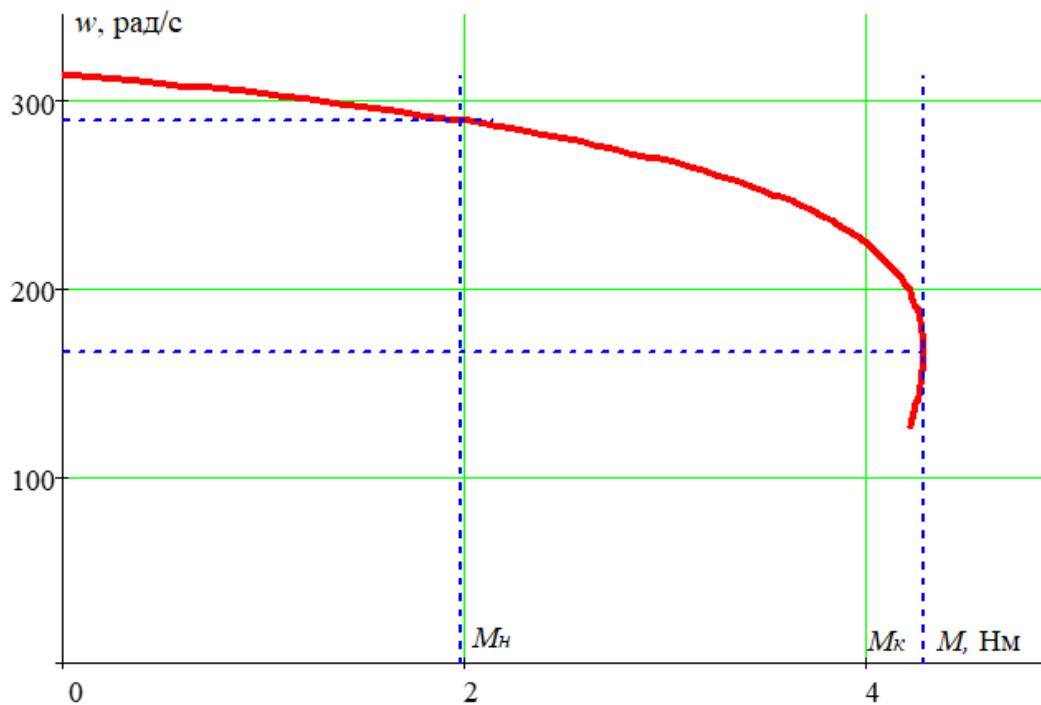


Рисунок 7 - Естественная механическая характеристика двигателя $M(\omega)$

Определение области работы

Нагрузочная характеристика насоса выглядит следующим образом:

$$M_{\text{вал т.2}} = \Delta M_{\text{пост}} + M_{\text{полн}} \cdot \left(\frac{\omega_{\text{т.2}}}{\omega_{\text{н}}} \right)^x$$

$\Delta M_{\text{пост}} = 0,36$ Нм – момент сил трения;

$M_{\text{полн}} = 1,2$ Нм – момент нагрузки;

$\omega_{\text{н}} = 289,01$ рад/с – номинальная скорость;

$\omega_{\text{т.2}}$ – скорость в текущей точке;

$x = 2$ – степенной коэффициент, учитывающий характер нагрузки.

С учетом различных заданий построена механическая характеристика в одних осях с нагрузочной (рисунок 9). При этом выбран закон управления $U_1 / f_1^2 = \text{const}$:

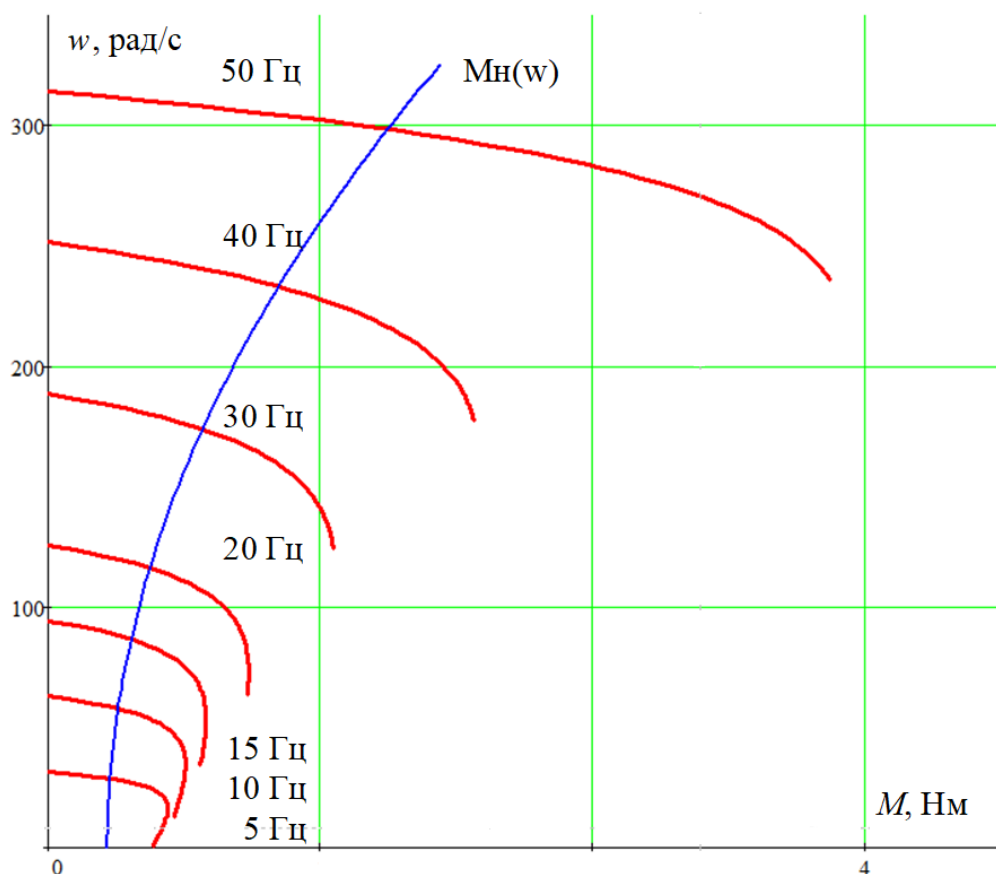


Рисунок 9 – Механическая и нагрузочная характеристики асинхронного электродвигателя радиального вентилятора

Как видно из семейства построенных характеристик, в диапазон работы электропривода входит нагрузочная характеристика, построенная ранее. При построении характеристик была использована компенсация момента на малых частотах. Величина добавленного напряжения для каждой частоты равна [10]:

$$\Delta U_1 \equiv 0 \text{ В, при } f_1 = 50 \text{ Гц}$$

$$\Delta U_1 \equiv 0 \text{ В, при } f_1 = 40 \text{ Гц}$$

$$\Delta U_1 \equiv 18 \text{ В, при } f_1 = 30 \text{ Гц}$$

$$\Delta U_1 \equiv 30 \text{ В, при } f_1 = 20 \text{ Гц}$$

$$\Delta U_1 \equiv 30 \text{ В, при } f_1 = 15 \text{ Гц}$$

$$\Delta U_1 \equiv 29 \text{ В, при } f_1 = 10 \text{ Гц}$$

$$\Delta U_1 \equiv 23 \text{ В, при } f_1 = 5 \text{ Гц}$$

Также были построены семейства характеристик для тока статора (рисунок 10) и приведенного тока ротора (рисунок 11)

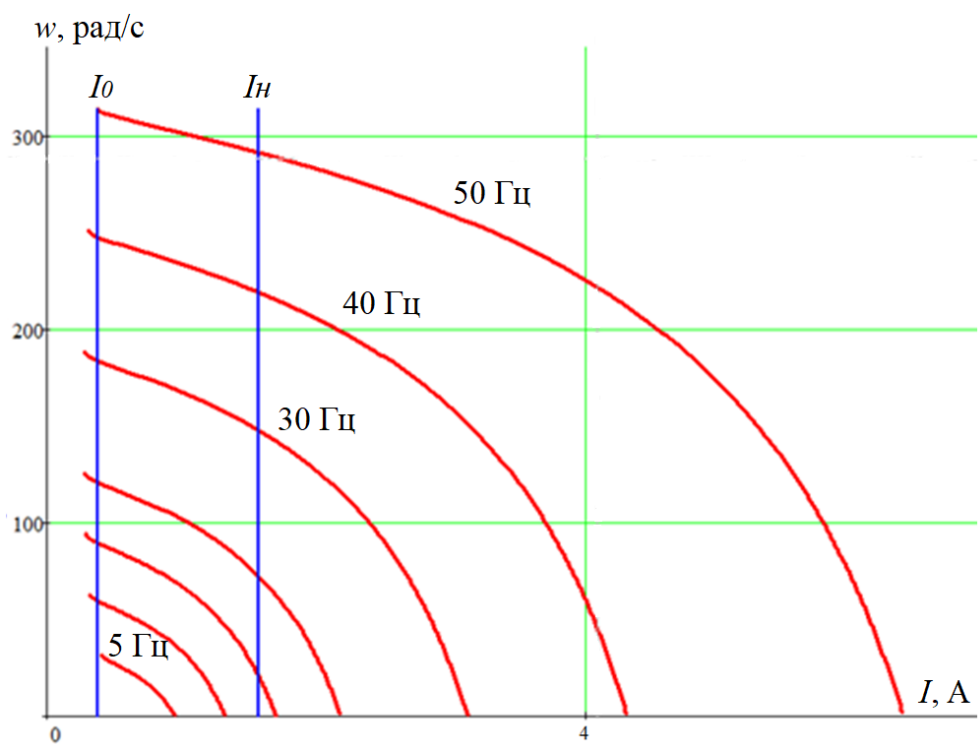


Рисунок 10 – Электромеханическая характеристика тока статора

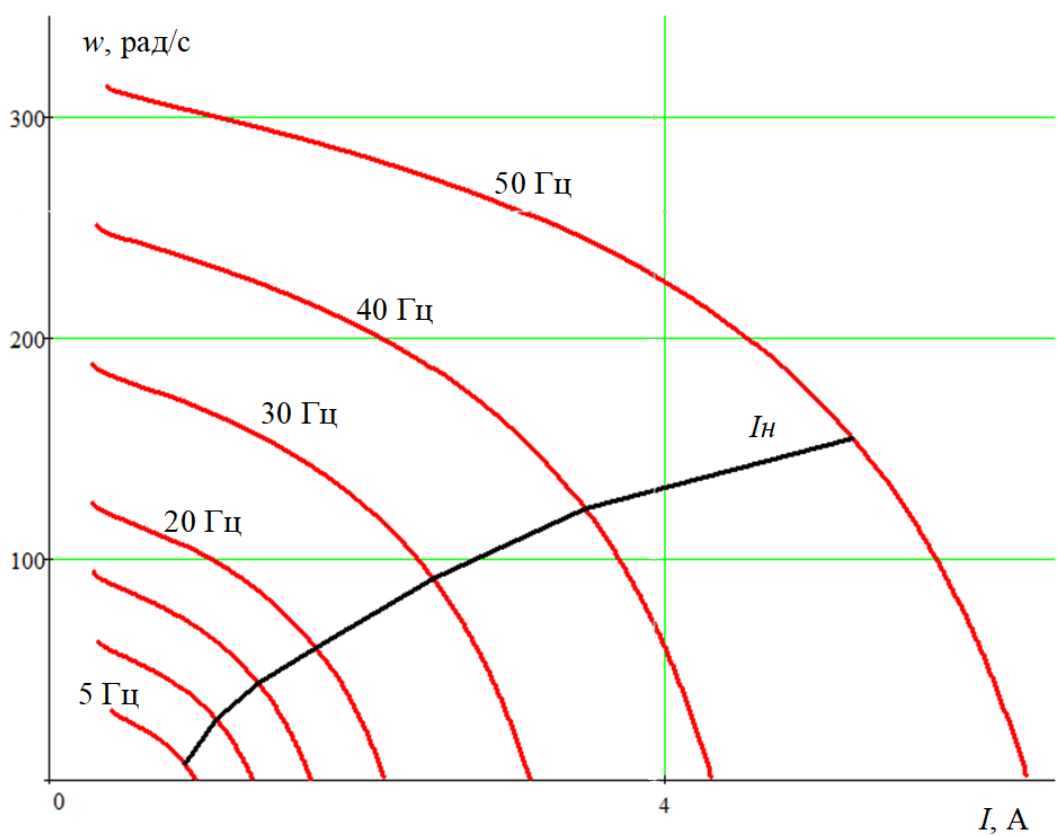


Рисунок 11 – Электромеханическая характеристика приведенного тока ротора

2.6 Выбор функциональной и структурной схемы электропривода

Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением приведена на рисунке 12. В состав электропривода входят: преобразователь частоты Danfoss VLT 2811, асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором входящий в состав радиального вентилятора Elektror S-LP. Настраиваемыми параметрами электропривода являются: тип и параметры задатчика интенсивности скорости (ЗИС), значение минимальной частоты преобразователя, закон регулирования и коррекция вольт-частотной характеристики [10].

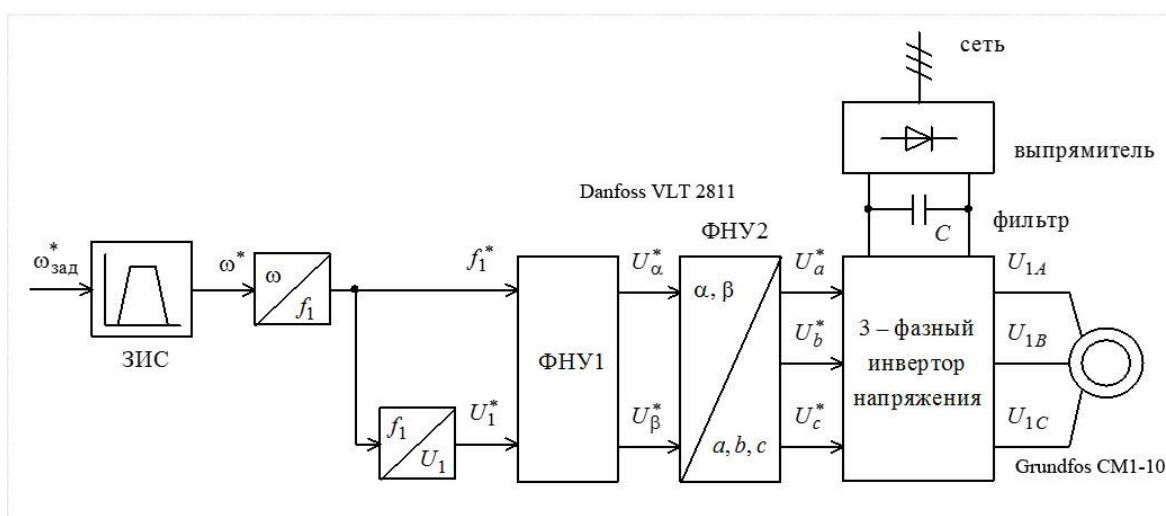


Рисунок 12 – Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением

Теоретически и практически доказано, что в классе законов U_{1j} / f_{1j} невозможно одновременно обеспечить удовлетворительные механические и энергетические характеристики в широком диапазоне скоростей и изменения нагрузки. Основная причина этого – возрастания влияния активного сопротивления обмотки статора при снижении частоты питающего напряжения

На практике наибольшее распространение получил такие способы частотного регулирования скорости как $E_{1j} / f_{1j} = const$, $E_{1j} / f_{1j}^2 = const$, $E_{1j} / \sqrt{f_{1j}} = const$. При регулировании скорости в классе законов E_{1j} / f_{1j}

необходимо повышать фазное напряжение $U_{1j} = E_{1j} + I_1 \cdot R_1$ на величину падения напряжения $I_1 \cdot R_1$ на активном сопротивлении обмотки статора, а способ регулирования скорости асинхронного двигателя получил название – частотное регулирование с IR-компенсацией [10].

Структурная схема системы скалярного частотного управления с IR - компенсацией приведена на рисунке 13.

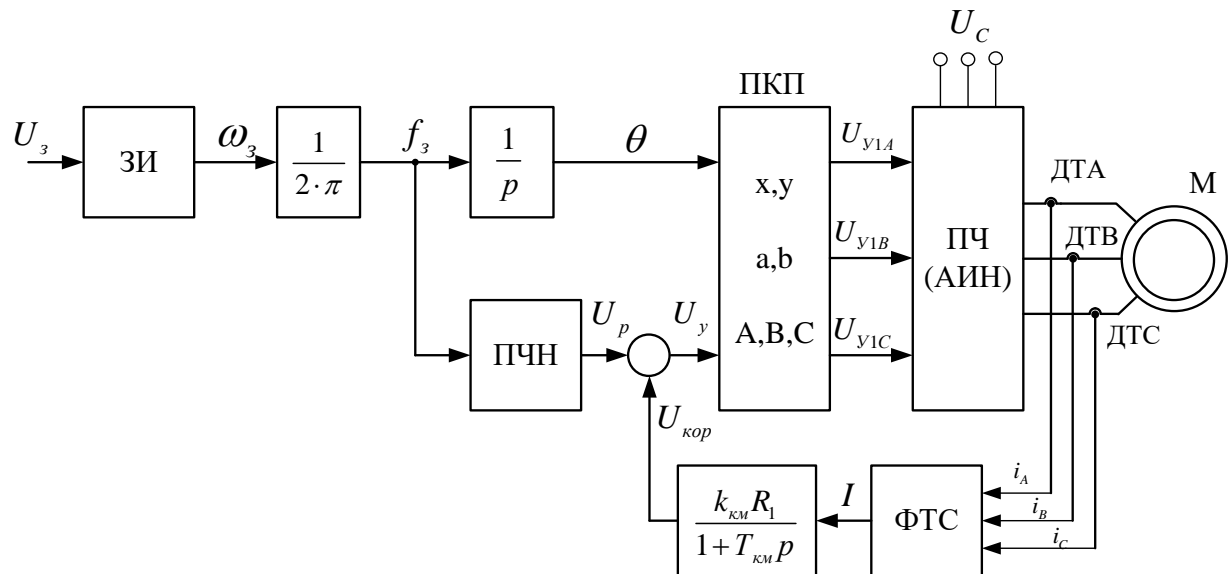


Рисунок 13 - Структурная схема системы скалярного частотного управления с IR-компенсацией

2.7 Имитационная модель электропривода

Имитационная модель асинхронного электропривода со скалярным управлением без задатчика интенсивности в программной среде MATLAB Simulink представлена на рисунке 14.

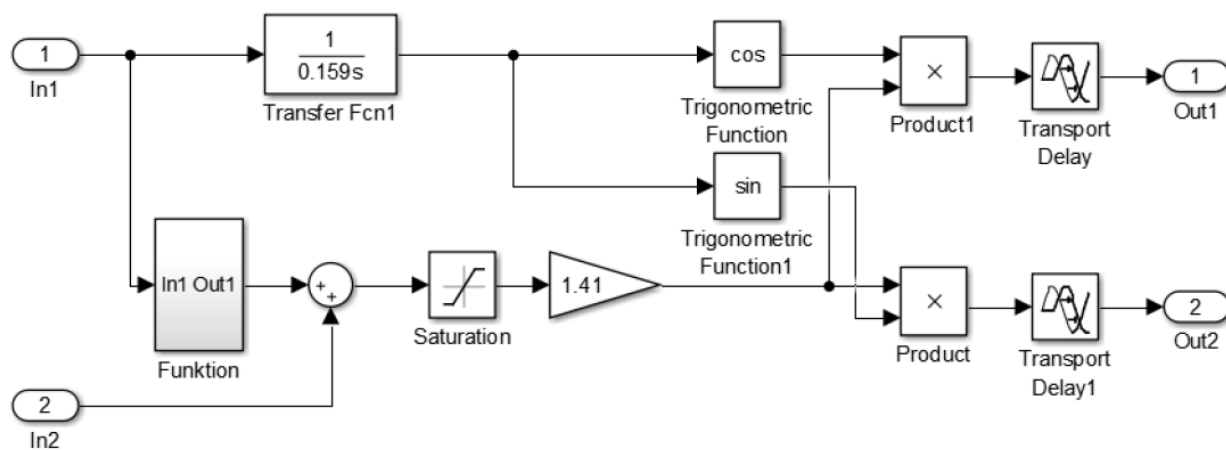


Рисунок 16 – Имитационная модель преобразователя частоты

В ходе выполнения моделирования был проведен эксперимент пуска асинхронного двигателя при помощи преобразователя частоты. Эксперименты проводились для частот 5, 20, 50 Гц.

3. Измеряемые переменные и технические устройства

3.1 Составление перечня измеряемых технологических переменных

В качестве измеряемых технологических переменных будут использованы следующие величины:

- Температура теплоносителя, $t_{воды}$;
- Температура шнекового транспортера, $t_{шнека}$;
- Температура в помещении, $t_{пом.}$

Управляющим воздействием будет аналоговый сигнал с регулятора $U_{упр.}$

В данном случае не требуется высокого быстродействия, так как процесс набора температуры является довольно длинным. Показатели диапазона и точности регулирования также являются невысокими. В связи с этим принято решение использовать скалярное управление.

Возмущающим воздействием в данном случае будет момент инерции двигателя (J). На валу закреплена крыльчатка, момент ее инерции мал, поэтому им можно пренебречь.

Основные критерии качества и цели управления технологическим процессом, закладываемые в структуру ЭП:

- заложенные законы скалярного управления;
- диагностика электродвигателя и преобразователя частоты;
- организации обмена данными с диспетчерским пунктом;
- выполнение требований стандартов безопасности;
- выполнение требований стандартов по стойкости к различным воздействиям.

3.2 Разработка комплекса технических средств АСУ ТП

В данной системе присутствует четкая иерархическая система, разделенная на несколько уровней. Система представлена на рисунке 17.

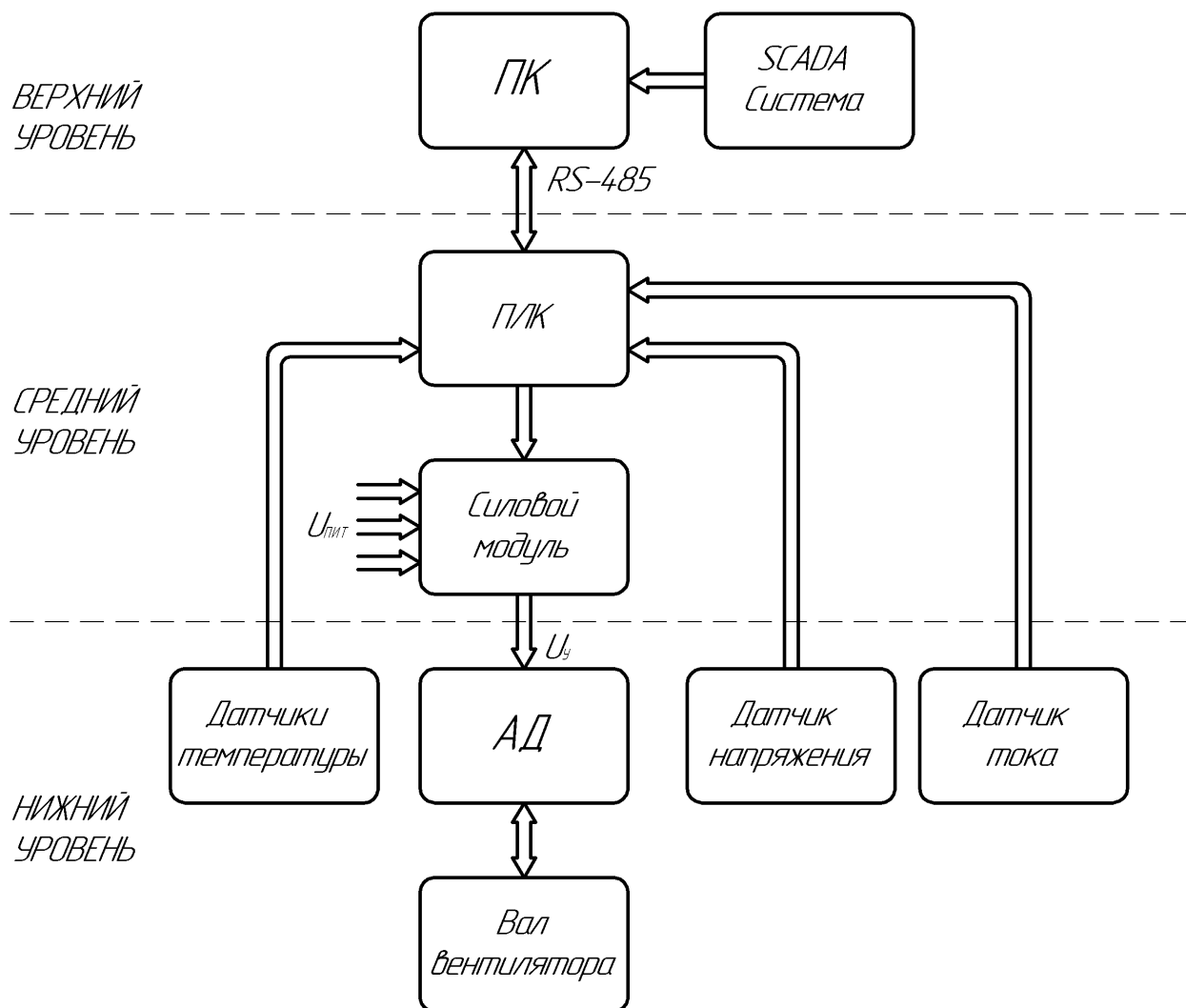


Рисунок 17 – Блок схема аппаратурных средств автоматизации

Всю систему следует разделить на следующие составляющие:

Нижний уровень – уровень датчиков и исполнительных механизмов;

Средний уровень – уровень промышленных контроллеров (ПЛК), средств управления (а также средств связи с высоким уровнем);

Верхний уровень – сетевое оборудование, управляющий ПК или scada-система (уровень операторских и диспетчерских станций).

Согласно рисунку 17, связь между различными аппаратными средствами будет производиться следующим образом:

Аналоговый сигнал с датчиков поступает на АЦП регулятора, который впоследствии обрабатывается. В системе используется скалярное управление. В связи с этим, частота вращения двигателя будет определяться заданными преобразователем частоты напряжением и частотой. Задание на ПЧ будет поступать от ПЛК при помощи аналогового сигнала 0 – 10 В.

Связь контроллера с высоким уровнем будет производиться при помощи интерфейса RS-485(232) построенном на протоколе ModBus RTU. Для непосредственной связи ПК с контроллером следует лишь иметь преобразователь интерфейса (RS-485 to USB) при использовании RS-485, и наличии COM-порта, при использовании RS-232. Для удаленной работы с устройствами потребуются интернет-коммуникатор, осуществляющий связь со scada - системой.

В результате описан объект, на котором будет производиться оптимизация системы управления твердотопливного котла. На основании поставленной задачи произведен литературный обзор, с помощью которого определены основные решения, применяемые в данной области. В итоге выбрано решение, где котел работает в двух режимах – набора и поддержания заданной температуры теплоносителя. Сформированы основные требования и структура установки со всей периферийной частью, а также правила взаимодействия между уровнями системы.

3.3 Выбор программируемого логического контроллера

В качестве устройства управления выбран программируемый логический контроллер отечественного производителя ВЭСТ - 02 (рисунок 18). Контроллер имеет невысокую цену и технические характеристики, достаточные для реализации данного проекта.

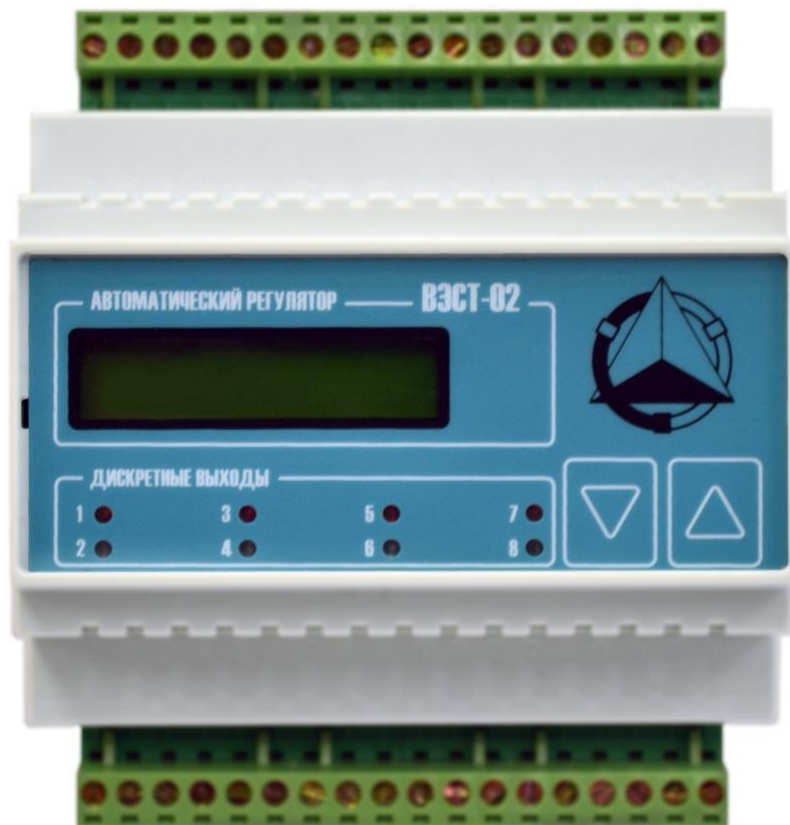


Рисунок 18 - Программируемый логический контроллер ВЭСТ - 02

Данный вид контроллера программируется в программной среде AKIAR (Автоматизированный комплекс исследования автоматических регуляторов). Эта среда разработки позволяет создавать структуры при помощи FBD блоков. Технические характеристики ПЛК представлены в приложении Б.

3.4 Выбор средств связи

Для связи между ПЛК и персональным компьютером обслуживающего персонала будет использоваться преобразователь интерфейсов RS-232/422/485 в Ethernet MOXA NPort 5150 (рисунок 19), технические характеристики которого представлены в приложении В.



Рисунок 19 - MOXA NPort 5150

Выход в интернет осуществляется при помощи сервера последовательного порта производства компании НПО ВЭСТ интернет коммуникатор ВЭСТ-ИС (Рисунок 20). Данный прибор позволит удаленно подключаться к оборудованию при помощи SCADA-системы с веб интерфейсом с любого устройства, которое может выйти в сеть.



Рисунок 20 - Интернет коммуникатор ВЭСТ-IC

3.5 Выбор датчиков

Так как главной измеряемой величиной для управления твердотопливным котлом является температура, выбранный датчик температуры должен удовлетворять всем необходимым требованиям по устойчивой и полезной работе котла.

Основными критериями при выборе датчика температуры являются:

- Предполагаемый диапазон измерений температуры;
- Точность измерений температуры;
- Условия расположения датчика (нормальные или агрессивные);
- Возможность периодического демонтажа датчика;
- Градуировка сигнала в градусах или впоследствии преобразованное в значение температуры.

Для измерения температуры в котле выбран датчик семейства термометры сопротивления - DS18B20, обладающим программирующим разрешением от 9 до 12 bit. DS18B20 обменивается данными по 1-Wire шине и при этом может быть, как единственным устройством на линии, так и работать в группе. Диапазон измерений от -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$ с точностью 0.5°C в пределах от -10°C до $+85^{\circ}\text{C}$. Каждый такой датчик имеет уникальный 64-битный последовательный код, который позволяет общаться со множеством одноименных датчиков, установленных на одной шине. Такой принцип позволяет использовать один микропроцессор, чтобы контролировать множество датчиков.

4. Разработка математических моделей технологического процесса и технологического оборудования с исполнительными электроприводами

Для получение имитационной модели в своей работе был использован программный пакет *MatLab Simulink*. Для каждого дифференциального уравнения системы используя простые арифметические выражения пакеты *Simulink* нужно составить мини-модель, которая будет описывать температуру воды в какой-либо из точек системы. Помимо простых арифметических блоков в ходе моделирования использованы интегрирующие звенья *Transfer Fcn*, константы и блоки осциллографа *Scope*. Дифференциальные уравнения представляют из себя простые апериодические звенья.

Звено, характеризующее нагрев теплоносителя в циркуляционных трубах котла представлено в виде передаточной функции с постоянного времени 500 с:

$$W(s) = \frac{1}{1 + 500s}$$

Теплообменник, как связующий элемент между первым и вторым контуром имеет постоянную времени 1250 с.

$$W(s) = \frac{1}{1 + 1250s}$$

Причиной применения такого времени, является конструктивная особенность теплообменника, из-за процесса теплопередачи без непосредственного соприкосновения нагретой воды первого контура со вторым, также применим коэффициент эффективности равный 0,9.

Данные величины постоянных времени выбраны из описания кривых набора температуры, представленных специалистами ООО «НПО ВЭСТ».

Модели котла и теплообменника изображены на рисунке 21, где

Q – Тепловая энергия котельной установки;

$t_{\text{рабочая}}$ – Рабочая температура теплоносителя во втором контуре.

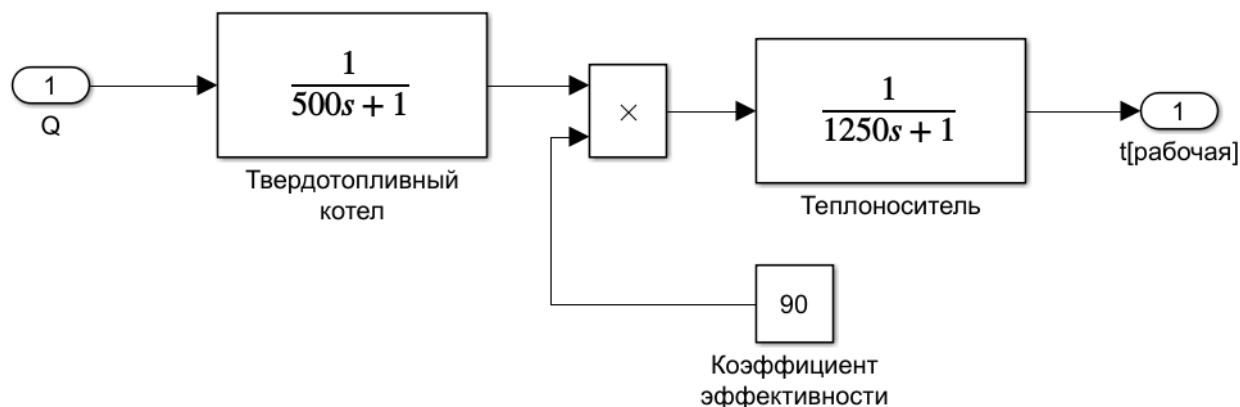


Рисунок 21 – Математические модели котла и теплообменника

Твердотопливные котлы и узлы передачи тепла, как системы теплообмена, обладают высокой инерционностью, что является причиной применения больших постоянных времени. Радиальный вентилятор, приводимый в движение асинхронным электродвигателем и регулируемый преобразователем частоты со скалярным управлением является основным исполнительным элементом электропривода, рассмотренным в данной работе.

Так как переходные процессы в электродвигателе и преобразователе частоты по времени протекания, в сравнении с процессами нарастания и убывания температуры, несоизмеримо медленны, математическая модель системы «преобразователь частоты – Асинхронный двигатель» упрощена до блока из двух звеньев. Преобразователь частоты упрощен до апериодического звена первого порядка с постоянным времени $T_{\text{пч}} = 0,2$ с., а асинхронный двигатель колебательным звеном с постоянными времени, $T_{\text{ад1}} = 0,19$ с и $T_{\text{ад2}} = 0,04$ с (Рисунок 22).

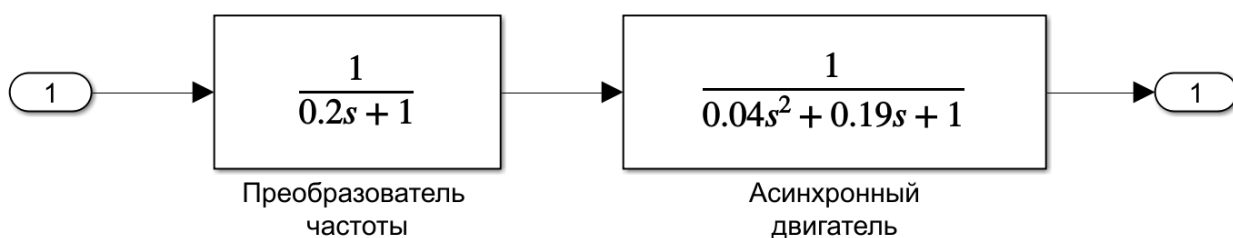


Рисунок 22 - Блок, описывающий работу системы ПЧ – АД в системе

4.1 Разработка алгоритмов функционирования системы управления технологическим оборудованием

Основной исполнительный механизм – радиальный вентилятор, приводимый в движение асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором, тем самым нагнетая необходимый объем воздуха в камеру сгорания для поддержания горения твердого топлива. Скорость вращения и время работы зависят вентилятора от подаваемого на него сигнала управления $U_{ув}$. Также подается управляющий сигнал $U_{ум}$ на электропривод шнекового транспортера топлива.

Разработанная в графической среде Simulink математического пакета MATLAB схема управления котлом построена на базе логических элементов этой среды и работает по принципу ошибки между заданной и фактической значением температуры теплоносителя. От значения ошибки будет зависеть в каком режиме будет осуществляться режим работы котла – при положительном значении котел находится в режиме набора температуры – работы. После выравнивания температуры задания и фактической котел входит в режим поддержания тепла, то есть ожидания. Общая структурная схема котла изображена на рисунке 23.

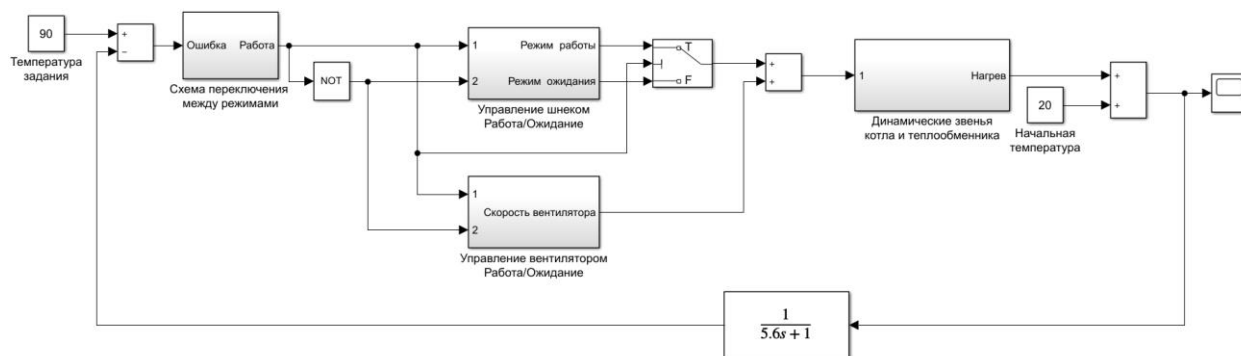


Рисунок 23 - Общая структурная схема твердотопливного котла

Схема переключения между режимами в зависимости от ошибки показана на рисунке 24.

Процесс нагрева является довольно медленным, но так как он обладает инерционностью, температура теплоносителя может превысить заданное значение. Применение температуры гистерезиса $T_{\text{гист}} = 3,2^\circ\text{C}$, отнимаемой от значения ошибки, позволяет перейти в режим ожидания до того, как достигнута температура задания.

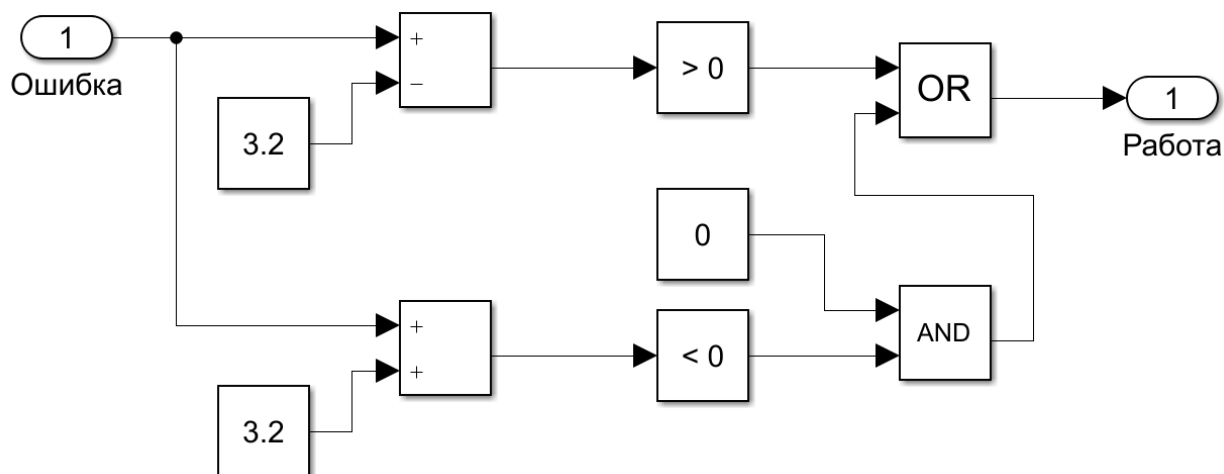


Рисунок 24 - Схема переключения между режимами работы

Разница между рабочими режимами котла состоит в различии времени паузы между порционными подачами топлива с постоянной скоростью в топку посредством шнекового транспортера и воздуха вентилятором с регулируемой скоростью вращения.

В режиме работы время подачи топлива составляет $t_{ш1} = 4,5$ с, а время паузы $t_{пз1} = 45$ с. Вентилятор непрерывно подает воздух в топку, скорость его вращения составляет $\omega_{в1} = 50$ рад/с. Смоделированная схема, изображенная на рисунке 25; 27, реализует эти процессы с данными параметрами с помощью счетчика – интегратора, возобновляющего работу по истечению заданного времени. Диаграмма, подаваемого сигнала работы шнека показана на рисунке 26.

В режиме ожидания, когда заданная температура достигнута, увеличивается время паузы между дозированными подачами топлива до $t_{пз2} = 300$ с, вентилятор начинает работать попеременно со временем включения $t_{в} = 4,5$ с и паузы $t_{пв} = 300$ с и скоростью вращения $\omega_{в2} = 15$ рад/с.

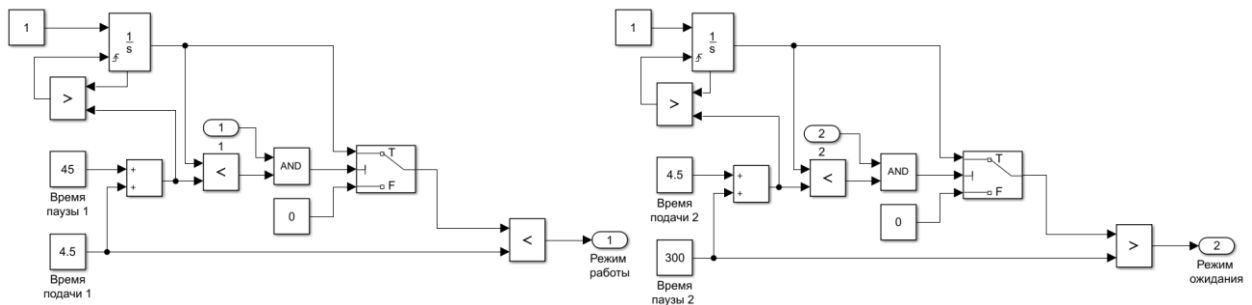


Рисунок 25 - Схема управления подающими сигналами шнека

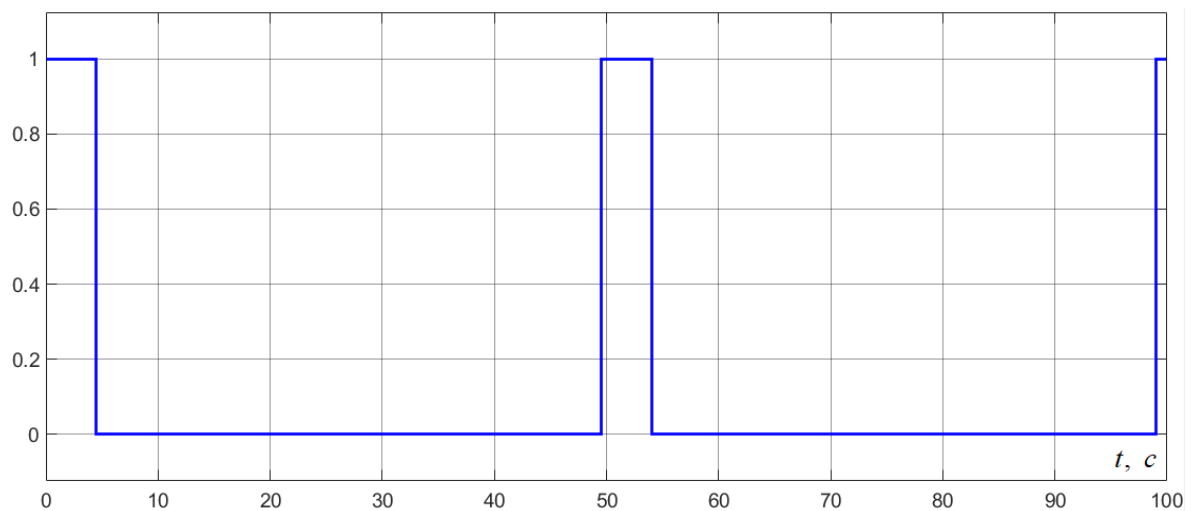


Рисунок 26 - Диаграмма сигнала, подаваемого на шнек в режиме работы

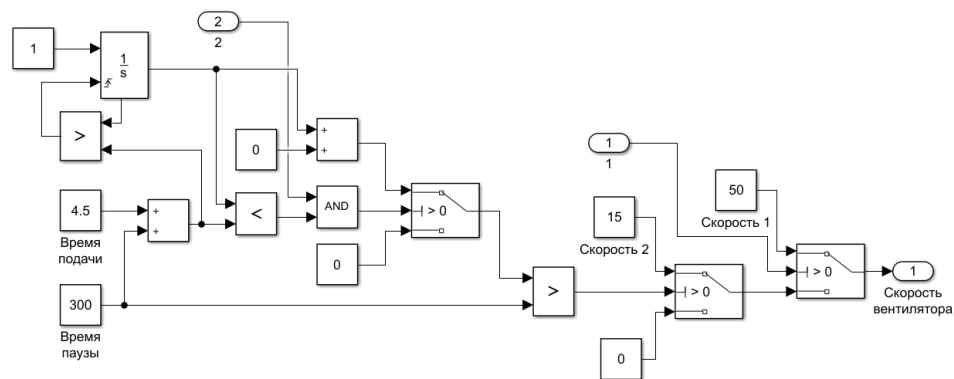


Рисунок 27 - Схема управления подающими сигналами вентилятора

Схема управления котлом (рисунок 28) при возникновении аварийного режима также построена на базе логических элементов библиотеки Simulink. В ней проходит сравнение сигналов с датчиков температуры теплоносителя и шнекового транспортера – при превышении этих значений выше допустимых, система принимает решение выдува топлива из топки и опустошения шнека, соответственно.

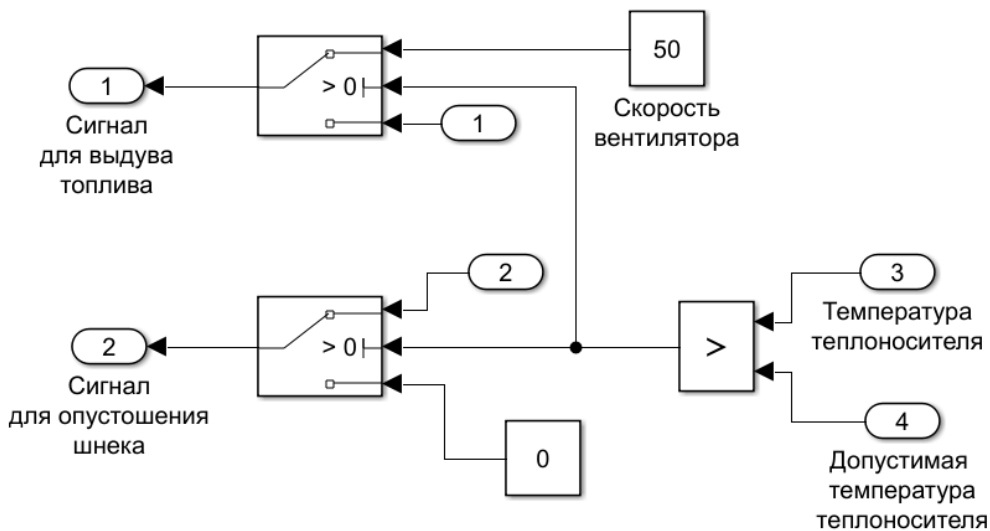


Рисунок 28 - Схема управления котлом при возникновении аварийного режима

4.2 Результат моделирования

Результатом моделирования на рисунке 16 послужила диаграмма набора температуры теплоносителя $T_K(t)$. Температура задания $T_{\text{Зад}} = 90^\circ\text{C}$ достигается примерно за 30 минут, и котёл, переходя в режим ожидания, поддерживает её.

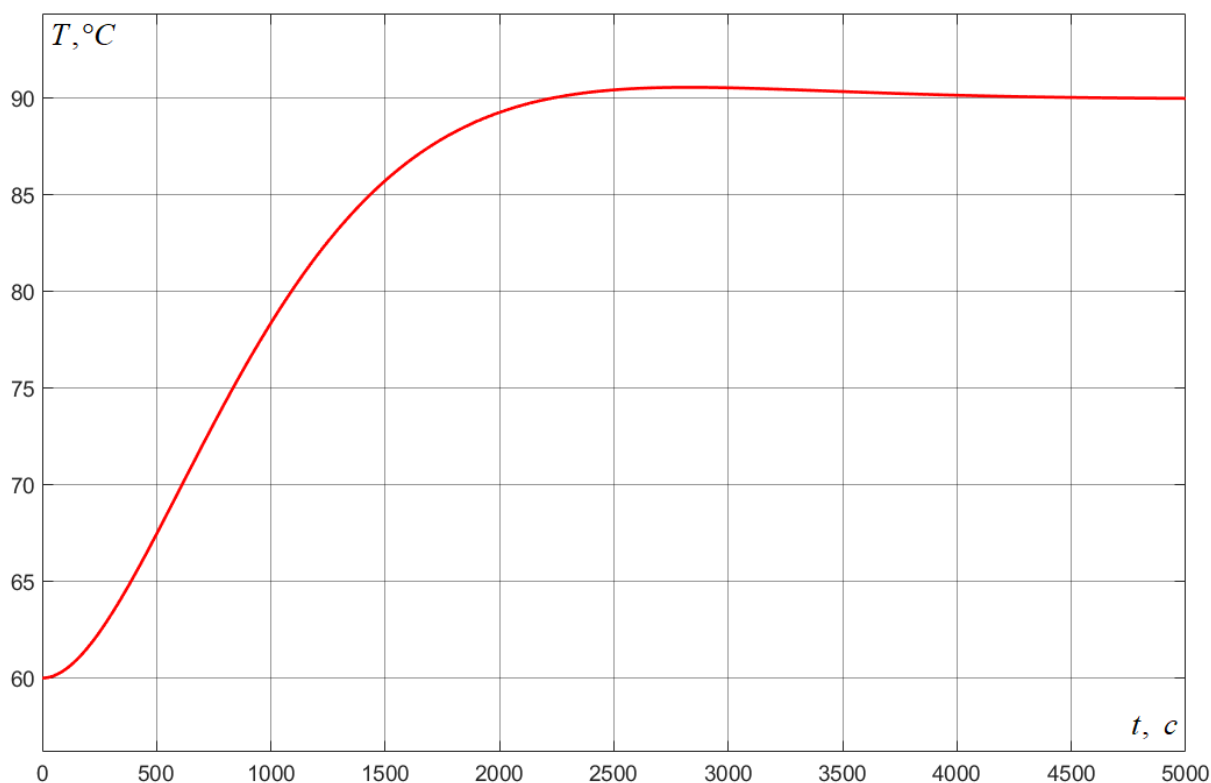


Рисунок 29 - Диаграмма набора температуры теплоносителя котла

Предложенная выше динамическая модель автоматизированной системы управления твердотопливным котлом учитывает текущую температуру теплоносителя и следуя ей подает сигнал работы на двигатель вентилятора и шнекового транспортера. В случае превышения допустимых температур теплоносителя и шнекового транспортера, система предпринимает меры выхода из аварийного режима, описанные выше. По этой причине можно считать построенную динамическую модель достойной альтернативой устаревшим индивидуальным системам отопления.

Вывод

Основной задачей в данной работе являлась оптимизация системы управления твердотопливными котлами путем разработки алгоритмов управления на базе логических элементов вентилятором и шнековым транспортером.

Путем разделения режимов работы котла на два – набора и поддержания температуры достигнут оптимальный результат в виде наиболее эффективного использования твёрдого топлива для достижения заданной температуры теплоносителя. Так как самостоятельный выход котла из внештатных ситуаций – перегрев теплоносителя и топлива вне камеры сгорания является значимым пунктом в автоматизированной системе, выстроено дополнительное решение по выходу из аварийного режима.

На основании данных о твердотопливных котлах, предоставленных специалистами из ООО «НПО ВЭСТ», предложено техническое решение по модернизации. При реализации проекта проведённой в программном пакете *Matlab Simulink* учитывались данные с датчиков температуры теплоносителя и шнекового транспортера.

5. Финансовый менеджмент, ресурсосбережение и ресурсоэффективность

ВВЕДЕНИЕ

Целью проекта является обоснование экономической эффективности разработки твердотопливного котла с автоматизированной системой управления.

Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения исследования рынка, разработки технологии и коммерциализации его результатов. Это является важным этапом для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

5.1 Предпроектный анализ

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В данной работе предпроектный анализ проводится по упрощенной схеме, при которой необходимо определить потребителей, дать оценку готовности проекта к коммерциализации.

Сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

В зависимости от категории потребителей необходимо использовать соответствующие критерии сегментирования.

Критерии сегментирования:

- по разработке, проектированию и производству;
- по установке и пуско-наладке;
- по дальнейшему обслуживанию и ремонту.

Карта сегментирования рынка приведена в таблице 3.

Таблица 3 - Карта сегментирования рынка

		Частные дома	Малые промышленные комплексы	Склады
Сегмент рынка	Проектирование и производство		Б	Б
	Установка и пуско-наладка	А	А	Б
	Обслуживание и ремонт	А	А	Б

Результаты сегментирования:

- Наиболее сильно предприятие должно быть ориентировано на сегменты рынка, связанные с проектированием и производством, установкой и пуско-наладкой асинхронных электроприводов;
- Наиболее привлекательными сегментами рынка остаются отрасли, связанные с установкой и пуско-наладкой различных систем электропривода.

Инициация проекта

В таблице 4 приведено комплексное содержание о цели проекта, ожидаемых результатах и критерии приемки результата проекта

Таблица 4 – Цели и результат проекта

Цели проекта	Разработка регулируемого электропривода вентилятора котла.
Ожидаемые результаты	Выполнение проекта в обговоренные сроки с учетом заявленных заказчиком технических условий.
Критерии приемки результата проекта	Скорость набора температуры теплоносителя, точность измерения температуры котла, надежность эксплуатации, соответствие ГОСТ'у 21563-2016 «Котлы водогрейные. Общие технические требования»
Требования к результату проекта	Требование
	Надежность эксплуатации твердотопливного котла при автоматизированной работе
	Наличие автоматизированной системы SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition — диспетчерское управление и сбор данных)
	Безукозисненная работа систем по устранению аварийного режима
	Возможность дистанционного управления (GPRS – система) котлом
	Использование различных видов твердого топлива

В результате определения требований к проекту сформированы важные критерии для оценки итоговой работы.

5.1.2 Организационная структура проекта

В таблице 5 представлены члены рабочей группы, а также представлены роль и функции каждого участника проекта.

Таблица 5 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, дни
1.	Шилин Александр Анатольевич; ФГАОУ ВО НИ ТПУ, ИШЭ, ОЭЭ; профессор	Руководитель	Надзор за исполнением проекта, проверка правильности расчетов, выполненных исполнителем	22
2.	Тубденов Жаргал Баторович, студент ИШЭ ОЭЭ	Исполнитель	Выполнение проекта	84

5.1.3 Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

Показатели оценки качества и перспективности новой разработки подбираются исходя из выбранного объекта исследования с учетом его

технических и экономических особенностей разработки, создания и коммерциализации.

Для упрощения процедуры проведения QuaD оценка проводится в табличной форме (таблица 6).

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по стобальной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 6 – Матрица QuaD

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)x100
1	2	3	4	5	
Показатели оценки качества разработки					
Энергоэффективность	0,11	90	100	0,9	9,9
Повышение производительности труда пользователя	0,07	95	100	0,95	6,65

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i = 0,11 \cdot 90 + 0,07 \cdot 95 + \dots + 0,04 \cdot 80 = 89,32,$$

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Значение P_{cp} получилось равным 89,32, что говорит о том, что данная разработка является перспективной.

5.1.4 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представим в табличной форме (таблица 7).

Таблица 7. Матрица SWOT

	Сильные стороны проекта: С1: Наличие опытного научного руководителя С2: Доступ к ресурсам НИ ТПУ С3: Низкая стоимость выполняемых работ	Слабые стороны проекта: Сл1: Маленький опыт одного из исследователей Сл2: Высокая трудоемкость процесса Сл3: Не проработаны пути продвижения на рынок
Возможности проекта: В1: Наличие инновационной структуры НИ ТПУ В2: Наличие партнерских отношений НИ ТПУ с большим количеством компаний В3: Высокая стоимость оказания услуг у конкурентов	В1С1С2- позволит оптимизировать процесс обработки данных потребления энергоресурсов. В2С1С2-проводить внедрение оборудования партнеров в ходе реализации технических мероприятий. В2В3С3- проводить исследования партнерам по сниженной стоимости	В1Сл1- проводить курсы повышения квалификации молодым специалистам в НИ ТПУ
Угрозы проекта: У1: Развитая конкуренция в области проведения энергообследований У2: Отсутствие спроса на исследование У3: Изменение ФЗ №261 "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности"	У1С1С2- оптимизировать работу коллектива что снизит время на выполнение работ. При этом за счет опытного научного руководителя качество проводимых исследований останется высокой.	У2Сл3- использовать рекламу как способ продвижения на рынок

В ходе анализа были изучены сильные стороны и возможности проекта, а также обозначены его слабые стороны и угрозы, которые необходимо учесть при реализации проекта.

5.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

В предыдущем разделе были описаны методы, которые позволяют выявить и предложить возможные альтернативы проведения исследования и доработки результатов. К их числу относятся технология QuaD, оценка конкурентных инженерных решений, SWOT-анализ.

5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Составляем перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проводим распределение исполнителей по видам работ. Результат представлен в таблице 8.

Таблица 8 – Перечень работ

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель
	3	Описание объекта автоматизации (модернизации)	Руководитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	Инженер
	6	Расчет параметров двигателя и модели	Инженер
	7	Выбор способа регулирования скорости	Руководитель
	8	Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель»	Инженер
	9	Разработка математической модели системы АУ ЭП	Инженер
	10	Оптимизация САР электропривода	Инженер
	11	Разработка программы имитационного моделирования	Инженер
Обобщение и оценка результатов	12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
<i>Проведение ОКР</i>			
Разработка технической документации и проектирование	13	Технико-экономические расчеты	Инженер/Руководитель
	14	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Руководитель
	15	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Руководитель

5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожи}$ используется следующая формула:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

где $t_{ожи}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожи}}{Ч_i},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожи}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

В данном разделе используем для построения линейного графика проведения научных работ диаграмму Ганта, которая представляет собой горизонтальный линейный график (Таблица 9), на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства длительность каждого из этапов работ приведен в календарных днях.

Таблица 9 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1 (1)	Составление и утверждение технического задания	2	05.02.18	06.02.18	Руководитель
2 (2)	Подбор и изучение материалов по теме	4	07.02.18	10.02.18	Инженер
3 (2)	Описание объекта исследования	4	11.02.18	14.02.18	Инженер
5 (3)	Сбор и анализ исходных данных исследуемого объекта	16	04.03.18	15.03.18	Инженер/лаборант
6 (3)	Обоснование использования технических мероприятий и рекомендация инновационных мероприятий	13	16.03.18	27.03.18	Инженер
7 (3)	Расчет удельных показателей и анализ работы системы управления котлом	15	28.03.18	09.04.18	Инженер
8 (4)	Контроль качества выполнения проекта и консультирование студента	14	10.04.18	18.04.18	Руководитель
9 (5)	Оценка эффективности проделанной работы	6	19.04.18	23.04.18	Руководитель
10 (6)	Технико-экономические расчеты	10	24.04.18	03.05.18	Инженер
11 (6)	Вопросы экологической безопасности	11	04.05.18	14.05.18	Инженер
12 (6)	Составление пояснительной записки	11	15.05.18	25.05.18	Инженер
Итого		Исполнитель			84
		Руководитель			22

В качестве даты начала работ считаем первый день весеннего семестра (5 февраля 2018 года).

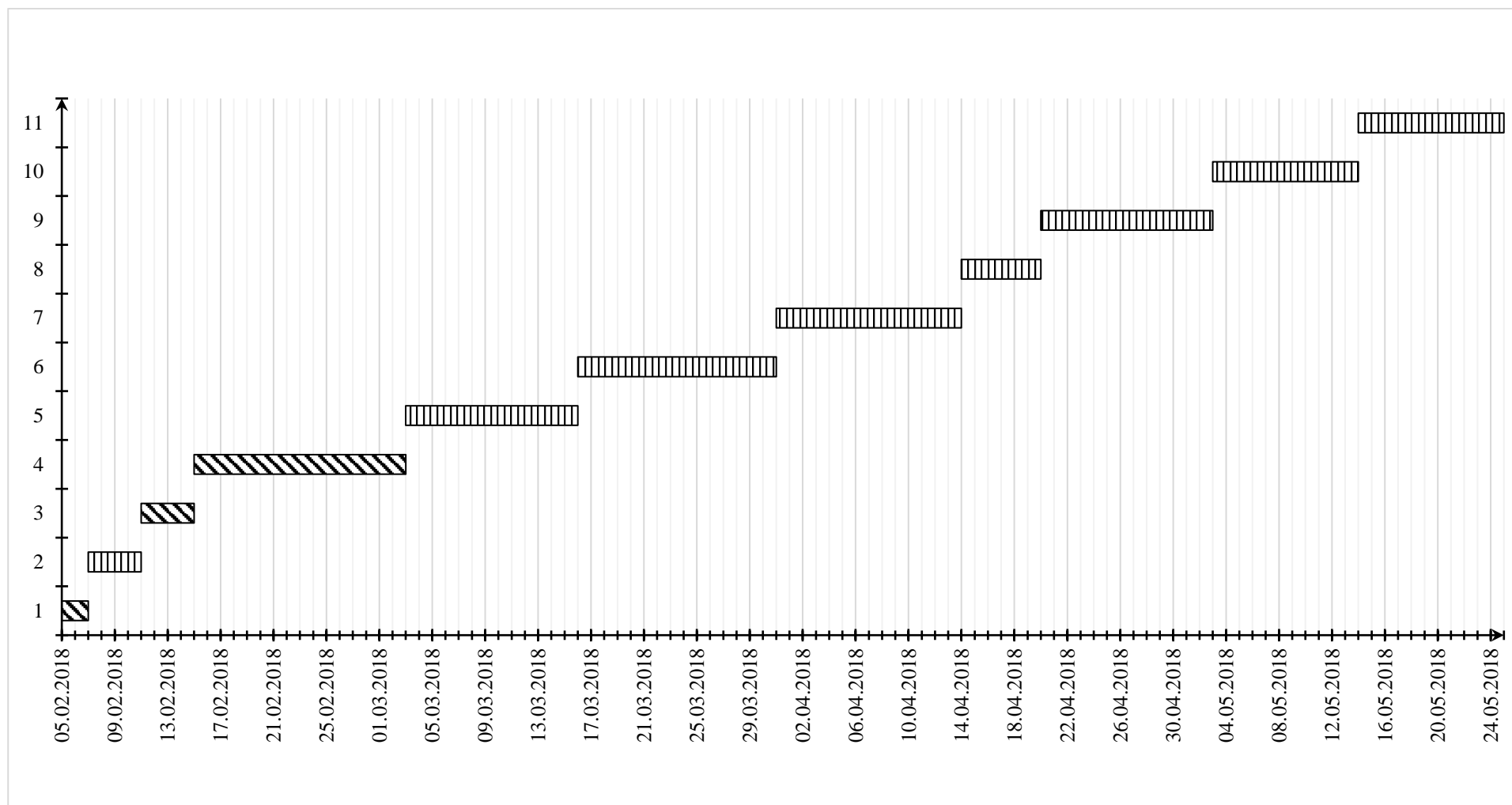


Рисунок 30 – Диаграмма Ганта

*По оси ординат числа соответствуют номерам работ, приведенных в таблице 9.

5.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, занесены в таблицу 10.

Таблица 10-Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (З _м), руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Перчатки	Пара	3	2	1	15	15	15	36	36	18
Нож	Штука	2	2	-	30	30	-	72	72	-
Кусачки	Штука	1	1	-	200	200	-	240	240	-
Эмальпровод ПЭТД-180	Кг	1	1	1	400	400	400	480	480	480
Компаунд КП-50	Банка	1	1	1	800	800	800	960	960	960
Итого								1752	1752	1440

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, сводятся в таблицу 11.

**Таблица 11 -Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования
для научных работ**

№ п/ п	Наименование оборудования			Кол-во единиц оборудования			Цена единицы оборудования, тыс. руб.			Общая стоимость оборудования, тыс. руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	Нагнетатель	Нагнетатель	-	1	1	-	4600	4600	-	4600	4600	-
2.	-	Датчик температуры	-	-	1	-	-	5000	-	-	5000	-
3.	Преобразователь частоты	Преобразователь частоты	-	1	1	-	8600	8600	-	8600	8600	-
Итого:										13200	18200	-

5.2.5 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{осн}$).

Основная заработная плата ($З_{осн}$) инженера от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{он} \cdot T_p$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 10);

$З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d}$$

где $З_m$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Расчет основной заработной платы представлен в приложении Г.

Расчет баланса рабочего времени приведен в таблице 12.

Таблица 12 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер	Лаборант
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дней			
- выходные дни	52	52	52
- праздничные дни	14	14	14
Потери рабочего времени			
- отпуск	48	48	48
- невыходы по болезни	14	14	14
Действительный годовой фонд рабочего времени	237	237	237

Месячный должностной оклад работника:

$$З_m = З_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p$$

где $З_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $З_{тс}$);

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $З_{тс}$);

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Основная заработная плата руководителя рассчитывается из часового оклада и количества выделенных на работу со студентом часов:

$$Z_{осн} = Z_{час} \cdot T_{час} = 300 \cdot 24 = 7200$$

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 13.

Таблица 13 - Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{б}$, руб./мес.	k_p	$Z_{м}$, руб./мес.	$Z_{дн}$, руб./день	T_p , раб. дн.	$Z_{осн.}$, руб.
Исполнитель	9200	1,3	17940	831,47	347	288520
Руководитель						7200
Лаборант	9200	1,3	17940	831,47	347	288520
Итого:						584240

5.2.6 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

5.2.7 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot Z_{осн}$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2015 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2015 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды представляем в табличной форме (таблица 14).

Таблица 14 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Научный руководитель	7200	7200	7200	-	-	-
Инженер	102019,5	171141,4	12789,53	12242,34	20536,97	1534,74
Лаборант	41264,34	62741,1	55075,75	4951,72	7528,93	6609,09
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271					
Итого						
Исполнение 1	46713,18					
Исполнение 2	99860,98					
Исполнение 3	26204,86					

5.2.8 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = Z_{\text{осн}} \cdot k_{\text{нр}}$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величина коэффициента накладных расходов принята в размере 16%.

Расчет величины накладных расходов приведен в таблице 15.

Таблица 15 - Величины накладных расходов

	З _{накл} , руб.
Исполнение 1	37446,18
Исполнение 2	77123,19
Исполнение 3	19894,69

5.2.9 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НТИ	1752	1752	1440	Пункт 3.4.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	13200	18200	-	Пункт 3.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	153904,9	322726	86336,58	Пункт 3.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	18468,57	39481,2	10360,38	Пункт 3.4.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	46713,18	99861	26204,86	Пункт 3.4.5
6. Накладные расходы	37446,184	77123,2	19894,6912	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НТИ	234038,65	482020	124341,82	Сумма ст. 1- 6

5.3 Определение ресурсоэффективности проекта

Финансовую эффективность проекта можно оценить при помощи интегрального финансового показателя:

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где:

$I_{\text{фин}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Расчёт интегрального финансового показателя проводим в виде табличной формы (таблица 17).

Таблица 17 – Интегральный финансовый показатель

Вариант схемы	Φ_{max} , руб.	Φ_{pi} , руб.	$I_{\text{фин}}^{\text{исп.}i}$, о.е.
1	482020	234038	0,486
2		482020	1
3		124341	0,258

Определение ресурсоэффективности проекта схемы 3 можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности схем проводим в виде табличной формы 18.

Таблица 18 – Интегральный показатель ресурсоэффективности

Критерии	Весовой коэффициент	Жилые квартиры	Офисные помещения	Цеха
1. Безопасность	0,25	5	5	5
2. Удобство в эксплуатации	0,10	5	5	5
3. Помехоустойчивость	0,10	4	4	4
4. Энергосбережение	0,15	4	4	5
5. Надёжность	0,25	5	5	4
6. Материалоёмкость	0,15	4	4	5
Итого:	1,00	4,5	4,5	4,6

Рассчитываем показатель ресурсоэффективности:

$$I_p = 0,25 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 = 4,6.$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение, что говорит об эффективности использования технического проекта.

Вывод

В ходе выполнения данной части выпускной работы доказана конкурентоспособность данного технического решения в сравнении с другими перспективами, был произведен SWOT-анализ, планирование, которое ограничило выполнение работы в 106 дней. Также посчитан бюджет НИИ равный 102306 рублей, основная часть которого приходится на зарплаты сотрудников.

6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

В данной работе разрабатывается программное средство для описания системы возбуждения синхронных генераторов с помощью информационной модели на предмет её актуальности и достоверности. Основным инструментом для этого является ПЭВМ.

Комфортной рабочей средой называют такое состояние внешней среды, которое обеспечивает оптимальную динамику работоспособности, хорошее самочувствие и сохранение здоровья.

Безопасность жизнедеятельности человека определяется характером труда, организацией, организацией рабочего места, наличием опасных и вредных факторов в среде обитания.

Длительная работа на ПЭВМ отрицательно воздействует на здоровье человека. Монитор ПК (персонального компьютера), является источником различных излучений, таких как: электромагнитное, рентгеновское, ультрафиолетовое, инфракрасное, а также излучения видимого диапазона.

Длительное сидячее положение приводит к напряжению мышц и появлению болей в руках, плечевых суставах, позвоночнике, шее. При длительной работе на клавиатуре появляются болевые ощущения в запястьях, кистях и пальцах рук. Особенностью работы на ПК является постоянное и значительное напряжение функций зрительного анализатора.

Безопасные уровни излучений регламентируются нормами Госкомсанэпидемнадзора в «Гигиенические требования к электронно-вычислительным машинам и организации работы. Санитарные нормы и правила. 2003».

В данное время подавляющие число мониторов имеют маркировку Low Radiation (низкое излучение), это означает, что в мониторе установлен дополнительный внутренний контур из металла, который замкнут на встроенный защитный экран. Однако, в эксплуатации находится большое количество мониторов, которые не удовлетворяют современным требованиям безопасности.

6.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

Для выбора факторов использовался ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [9]. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в виде таблицы:

Таблица 19 - Вредные и опасные факторы

Источник фактора, наименование вида работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Место работы за ПЭВМ	1. Повышенный уровень электромагнитных полей; 2. Недостаточная освещенность рабочей зоны; 3. Повышенный уровень шума на рабочем месте; 4. Повышенная или пониженная влажность, температура и скорость движения воздуха;	1. Электрический ток	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 СанПиН 2.2.2.542-96 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 СанПиН 2.2.4.1191-03 СП 52.13330.2011 СанПиН 2.2.4.548-96 СН 2.2.4/2.1.8.562-96 ГОСТ 30494-2011

6.1.1 Микроклимат

В ходе выполнения работ работников проектного отдела будут воздействовать ряд вредных факторов, а именно микроклимат в помещении; производственный шум, освещение кабинета, а также электромагнитные поля, создаваемые компьютерами и оргтехникой.

Рассмотрим подробно каждый описанный выше вредный фактор производственной среды, оказываемое воздействие данного фактора на рабочий персонал, допустимые нормы и средства защиты от воздействия вредного фактора.

В соответствии с [8] одним из необходимых условий здорового и высокопроизводительного труда является обеспечение чистоты воздуха и нормальных метеорологических условий в кабинете. Параметры микроклимата могут меняться в широких пределах, в то время как необходимым условием жизнедеятельности человека является поддержание постоянства температуры тела благодаря свойству терморегуляции. Основной принцип нормирования микроклимата - это создание оптимальных условий для теплообмена тела человека с окружающей средой. В установлены значения параметров микроклимата, создающие комфортные условия.

Согласно нормативно-технической документации при нормировании параметров микроклимата выделяют холодный период года, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха, равной $+10^{\circ}\text{C}$ и ниже и теплый период года, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха выше $+10^{\circ}\text{C}$. Разграничение работ по категориям, осуществляется на основе интенсивности общих энерготрат организма в ккал/ч (Вт). [13]

Комната является помещением Ia категории (с интенсивностью энерготрат до 120 ккал/ч, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением), поэтому должны соблюдаться следующие требования, приведенные в таблице 20:

Таблица 20 – Оптимальные параметры микроклимата

Температура, $^{\circ}\text{C}$	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
19	62	Менее 0,1
20	58	
21	55	

Так же немаловажным фактором является интенсивность теплового облучения, допустимые нормы приведены в таблице 21.

Таблица 21 – Допустимые нормы параметров микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м ²
50 и более	35
25 - 50	70
Не более 25	100

Для обеспечения комфортных условий труда используются организационные и технические методы. Организационный являются рациональная организация работы, в зависимости от времени суток и года, а также организация правильного чередования труда и отдыха. Поэтому рекомендуется, чтобы в пределах предприятия организовывать зеленую зону со скамейками и водоемом (бассейном). Технические средства включают вентиляцию, кондиционирование воздуха, отопительную систему. Отопление и системы кондиционирования следует устанавливать так, чтобы ни теплый, ни холодный воздух не был направлен на людей, работающих в помещении.

6.1.2 Шум

Шум – беспорядочное сочетание звуков различной частоты и интенсивности. Он может создаваться работающим оборудованием, используемым в процессе труда инструментом, различными механизмами и устройствами. К такому оборудованию относится компьютерная техника, находящиеся в помещении.

В результате исследований установлено, что шум ухудшает условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека. Действие шума различно: затрудняет разборчивость речи, вызывает снижение работоспособности, повышает утомляемость, вызывает изменения в органах

слуха человека, ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция.

Эквивалентный уровень звука для персонала, осуществляющего эксплуатацию ПЭВМ не должен превышать 50 дБА в соответствии [10].

По частотам шумы подразделяются на:

- низкочастотный (<300 Гц)
- среднечастотный (300—800 Гц)
- высокочастотный (>800 Гц)

Защита от шума, создаваемого на рабочих местах внутренними и внешними источниками, осуществляется уменьшением шума в источнике, применением средств коллективной и индивидуальной защиты. Для рассматриваемого помещения предложена замену оборудования на современное, и более удобное его размещение.

Для уменьшения шума нужно уменьшить энергию отражённых волн. Это можно достичь, увеличив эквивалентную площадь звукопоглощения помещения путём размещения на его внутренних поверхностях звукопоглощающих облицовок, а также установки в помещении штучных звукопоглотителей. Наиболее эффективное снижение шума можно достичь путём установки звукоизолирующих преград в виде стен, перегородок, кабин.

6.1.3 Освещение

Низкая освещённость рабочего места препятствует длительной работе, вызывая утомление и способствуя развитию близорукости у работающего персонала. Слишком низкие уровни освещённости способны вызывать апатию и сонливость, в совокупности с другими факторами способны развить чувство тревоги. Длительное пребывание в таких условиях вызывает снижение интенсивности обмена веществ в организме и его общее ослабление. Подобные симптомы наблюдаются и при работе в помещениях с ограниченным спектральным составом света. Слишком яркий свет ослепляет, понижает зрительную функцию, вызывает перевозбуждение нервной системы,

снижает работоспособность. Воздействие чрезмерной яркости может вызывать фотоожоги глаз и кожи, кератиты, катаракты и другие нарушения.

Нормы естественного и искусственного освещения представлены в таблице 22 [11].

Таблица 22 - Нормы естественного и искусственного освещения

Характеристика зрительной работы	Наим. Размер объекта различения, мм	Искусственное освещение		Естественное освещение		Совместное освещение	
		Освещенность, лк		КЕО e_N , % при			
		При системе комбинированного освещения	При системе общего освещения	Верхн.	Боков.	Верхн.	Боков.
Средней точности	0,5 – 1,0	500	200	4,0	1,5	2,4	0,9

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 200 - 500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 200 лк [11]. Параметры лаборатории; ширина – 6 м; длина – 5 м; высота – 2,8 м.

Порядок расчета: выбор типа светильников; определение количества светильников; определение мощности светильников.

Для рассматриваемого помещения, исходя из его высоты и технологических особенностей, в качестве источников света будут использованы люминесцентные лампы ЛБ (лампы белого цвета) вместе со светильниками типа ЛВО10-4х18 Вт (длина и ширина светильника 595 мм, высота 81 мм).

Расчет светильников и их размещение.

Для размещения светильников произведем расчет следующих основных параметров.

h_c – расстояние светильников от перекрытия (свес);

$h_{\pi} = H - h_c$ – высота светильника над полом, высота подвеса;

$h_{рп}$ – высота рабочей поверхности над полом;

$h = h_{\pi} - h_{рп}$ – расчетная высота, высота светильника над рабочей поверхностью;

L – расстояние между соседними рядами;

l – расстояние от крайних светильников или рядов до стены.

Для светильника типа ЛВО-4х36 Вт величина интегрального критерия оптимальности расположения $\lambda = 1,1$. Высота подвеса светильника $h_{\pi} = 2,7$ м.

$$h_c = H - h_{\pi} = 2,8 - 2,7 = 0,1 \text{ м}$$

Рассчитаем высоту светильника над рабочей поверхностью.

$$h = h_{\pi} - h_{рп} = 2,7 - 0,7 = 2 \text{ м}$$

Рассчитаем расстояние между соседними рядами светильников L , исходя из следующей формулы:

$$L = \lambda \cdot h = 1,1 \cdot 2 = 2,2 \text{ м}$$

$$\frac{L}{3} = 0,73 \text{ м}$$

Четырехламповые светильники типа ЛВО10-4х18-004 (004 – зеркальная решетка с 9 внутренними поперечными пластинами) располагаем в два ряда. В каждом ряду по 3 светильника. Разрывы между светильниками в ряду составляют 0,5 м. Учитываем то, что в одном светильнике установлено по 4 лампы, общее количество люминесцентных ламп равняется 24 шт.

Определим индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)},$$

где S – площадь освещаемой поверхности; h – высота светильника над рабочей поверхностью; A – длина помещения; B – ширина помещения.

Рассчитаем индекс помещения:

$$i = \frac{30}{2 \cdot (6 + 5)} = 1,36$$

Значение коэффициента отражения потолка и стен соответственно:
 $\rho_c = 70\%$ (свежепобеленный), $\rho_n = 30\%$ (оклеенные светлыми обоями),
 $\rho_{\text{пол}} = 20\%$.

Определим световой поток лампы исходя из следующего выражения:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 30 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{24 \cdot 0,56} = 1104,9 \text{ лк}$$

где E_n – нормируемая минимальная освещенность по [11], лк; S – площадь освещаемого помещения, м^2 ; K_z – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, равен 1,5 (помещение с малым выделением пыли); Z – коэффициент неравномерности освещения. Для люминесцентных ламп берется равным 1,1. N – число ламп; η – коэффициент использования светового потока, %.

Исходя из получившегося значения светового потока выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛБ на 20 Вт с потоком 1200 лк. Напряжение в сети 220 В [12].

Делаем проверку выполнения следующего условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \cdot 100\% \leq +20\%$$

$$-10\% \leq \frac{1200 - 736,61}{1200} \cdot 100\% \leq +20\%$$

$$-10\% \leq 0,39\% \leq +20\% \text{ (условие выполняется)}$$

Корректировка числа светильников, либо высоты их подвеса не требуется.

Определяем мощность осветительной установки:

$$P = 24 \cdot 20 = 480 \text{ Вт}$$

Исходя из произведенных расчетов можно сделать следующий вывод: в помещении лаборатории (размерами 6х5х2,8 м) со свежепобеленным потолком и оклеенными светлыми обоями стенами, следует использовать 6 светильников ЛВО10-4х18 с люминесцентными лампами типа ЛБ 20 Вт с потоком 1200 лк.

Схема размещения светильников представлена на рисунке 31

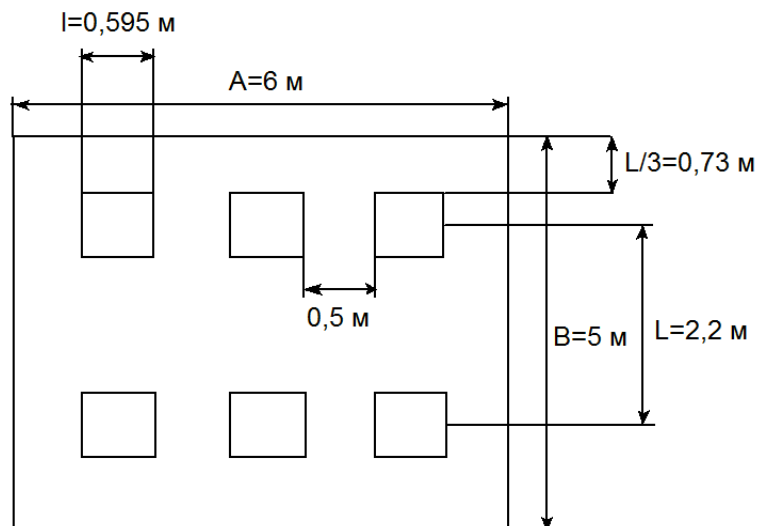


Рисунок 31 - Схема размещения светильников в лаборатории

6.1.4 Электромагнитные поля

Временные допустимые уровни электромагнитных полей, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах пользователей представлены в таблице 23 [13].

Таблица 23- Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	В диапазоне частот 5 Гц – 2кГц	25 В/м
	В диапазоне частот 2 кГц – 400кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	В диапазоне частот 5 Гц – 2кГц	250 нТл
	В диапазоне частот 2 кГц – 400кГц	25 нТл
Напряженность электромагнитного поля		15 кВ/м

Основные источники электромагнитного поля:

- Электропроводка внутри зданий
- Бытовые электроприборы
- Офисная техника
- Сотовая связь

Обеспечение защиты работающих от неблагоприятного влияния ЭМП осуществляется согласно [14] путем проведения организационных, инженерно-технических и лечебно-профилактических мероприятий.

Организационные мероприятия при проектировании и эксплуатации оборудования, являющегося источником ЭМП или объектов, оснащенных источниками ЭМП, включают:

- выбор рациональных режимов работы оборудования;
- выделение зон воздействия ЭМП;
- расположение рабочих мест и маршрутов передвижения обслуживающего персонала на расстояниях от источников ЭМП, обеспечивающих соблюдение ПДУ;
- ремонт оборудования, являющегося источником ЭМП следует производить (по возможности) вне зоны влияния ЭМП от других источников;
- соблюдение правил безопасной эксплуатации источников ЭМП.

Инженерно-технические мероприятия должны обеспечить снижение уровней ЭМП на рабочих местах путем внедрения новых технологий и применение средств коллективной и индивидуальной защиты (когда фактические уровни ЭМП на рабочих местах превышают ПДУ, установленные для производственных воздействий).

В целях предупреждения и раннего обнаружения изменений состояния здоровья все лица, профессионально связанные с обслуживанием и эксплуатацией источников ЭМП, должны проходить периодические профилактические медосмотры в соответствии с действующим законодательством.

6.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

6.2.1 Опасность поражения электрическим током

Для предотвращения поражения электрическим током помещения, где размещаются рабочие места с ЭВМ, должны быть оборудованы защитным заземлением (занулением) в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации.

Не следует размещать рабочие места с ЭВМ вблизи силовых кабелей и вводов, высоковольтных трансформаторов, технологического оборудования, создающего помехи в работе ЭВМ. [13]

Согласно разделу 1.1.13 правил устройства электроустановок (ПУЭ) [15] классификация помещений по степени опасности поражения электрическим током подразумевает разделять помещения на три отдельных категории, характеризующих степень опасности:

1. Особо опасные;
2. С повышенной опасностью.
3. Без повышенной опасности.

Помещение, предназначенное для исследования и использования результатов исследования, относится к третьей категории. Помещения без повышенной опасности - это помещения, в которых отсутствует сырость, высокая температура, токопроводящие полы, токопроводящая пыль, химическая среда. В данную категорию входят помещения, характеризующиеся пониженной влажностью воздуха (до 75%), оборудованные при необходимости вентиляционной системой и отоплением. Кроме того, полы в таких помещениях должны быть не токопроводящими.

6.3 Экологическая безопасность

Проблема защиты окружающей среды – одна из важнейших задач современности. В последние годы во всем мире все с большей силой поднимается вопрос об охране окружающей среды.

Защита окружающей среды — это комплексная проблема, требующая усилий всего человечества. Наиболее активной формой защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий является полный переход к безотходным и малоотходным технологиям и производствам. Это потребует решения целого комплекса сложных технологических, конструкторских и организационных задач, основанных на использовании новейших научно-технических достижений.

При обращении с твердыми отходами: бытовой мусор (отходы бумаги, отработанные специальные ткани для протирки офисного оборудования и экранов мониторов, пищевые отходы); отработанные люминесцентные лампы; офисная техника, комплектующие и запчасти, утратившие в результате износа потребительские свойства – надлежит руководствоваться [16]: бытовой мусор после предварительной сортировки складировать в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку); утратившее потребительские свойства офисное оборудование передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах.

Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с [17]. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу опасности. Ртуть люминесцентных ламп способна к активной воздушной и водной миграции. Интоксикация возможна только в случае разгерметизации колбы, поэтому основным требованием экологической безопасности является сохранность целостности отработанных ртутьсодержащих ламп. Отработанные газоразрядные лампы помещают в защитную упаковку, предотвращающую повреждение стеклянной колбы, и передают специализированной организации для обезвреживания и переработки. В случае боя ртутьсодержащих ламп осколки собирают щеткой или скребком в герметичный металлический контейнер с плотно закрывающейся крышкой, заполненный раствором

марганцевокислого калия. Поверхности, загрязненные боем лампы, необходимо обработать раствором марганцевокислого калия и смыть водой. Контейнер и его внутренняя поверхность должны быть изготовлены из неадсорбирующего ртуть материала (винипласта).

6.4 Анализ вероятных ЧС и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

Согласно ГОСТ Р 22.0.02-94 ЧС - это нарушение нормальных условий жизни и деятельности людей на объекте или определенной территории (акватории), вызванное аварией, катастрофой, стихийным или экологическим бедствием, эпидемией, эпизоотией (болезнь животных), эпифитотией (поражение растений), применением возможным противником современных средств поражения и приведшее или могущее привести к людским или материальным потерям".

С точки зрения выполнения проекта характерны следующие виды ЧС:

1. Пожары, взрывы;
2. Внезапное обрушение зданий, сооружений;
3. Геофизические опасные явления (землетрясения);
4. Метеорологические и агрометеорологические опасные явления;

В помещении имеется электропроводка напряжением 220 В, предназначенная для питания вычислительной техники и освещения. При неправильной эксплуатации оборудования и коротком замыкании электрической цепи может произойти возгорание, которое грозит уничтожением техники, документов и другого имеющегося оборудования.

В серверных комнатах размещается большое количество электронного оборудования – компьютеры, процессоры, материнские платы, роутеры, источники бесперебойного питания и пр. Категория такого помещения В2. Необходимо проводить следующие пожарно-профилактические мероприятия:

– организационные мероприятия, касающиеся технического процесса с учетом пожарной безопасности объекта;

- эксплуатационные мероприятия, рассматривающие эксплуатацию имеющегося оборудования;

- технические и конструктивные, связанные с правильным размещением и монтажом электрооборудования и отопительных приборов.

Организационные мероприятия:

- Противопожарный инструктаж обслуживающего персонала;

- Обучение персонала правилам техники безопасности;

- Издание инструкций, плакатов, планов эвакуации.

Эксплуатационные мероприятия:

- Соблюдение эксплуатационных норм оборудования;

- Обеспечение свободного подхода к оборудованию;

- Содержание в исправном состоянии изоляции токоведущих проводников.

К техническим мероприятиям относится соблюдение противопожарных требований при устройстве электропроводок, оборудования, систем отопления, вентиляции и освещения. В коридоре имеется порошковый огнетушитель типа ОП-5, рубильник, на двери приведен план эвакуации в случае пожара, и, на достигаемом расстоянии, находится пожарный щит.

Наиболее дешевым и простым средством пожаротушения является вода, поступающая из обычного водопровода. Для осуществления эффективного тушения огня используют пожарные рукава и стволы, находящиеся в специальных шкафах, расположенных в коридоре. В пунктах первичных средств огнетушения должны располагаться ящик с песком, пожарные ведра и топор.

Если возгорание произошло в электроустановке, для его устранения должны использоваться огнетушители углекислотные типа ОУ-2 или порошковые типа ОП-5. Кроме устранения самого очага пожара нужно своевременно организовать эвакуацию людей.

6.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Обеспечение безопасности на рабочем месте подразумевает различные правовые и организационные решения.

Для осуществления практической деятельности в области обеспечения безопасности жизнедеятельности необходимо соблюдение нормативов и правил ведения соответствующих работ, позволяющие их обеспечить. Соблюдение рабочего режима, правил ведения работ и т.д.

Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.

Согласно ТК РФ, N 197 -ФЗ каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Рабочее место должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78. Оно должно занимать площадь не менее 6 м², высота помещения должна быть не менее 4 м, а объем - не менее 20 м³ на одного человека. Высота над уровнем пола рабочей поверхности, за которой работает оператор, должна составлять 720 мм. Оптимальные размеры поверхности стола 1600 x 1000 кв. мм. Под столом должно иметься пространство для ног с размерами по глубине 650 мм. Рабочий стол должен также иметь подставку для ног, расположенную под углом 15° к поверхности стола. Длина подставки 400 мм, ширина - 350 мм. Удаленность клавиатуры от края стола должна быть не более 300 мм, что обеспечит удобную опору для предплечий. Расстояние между глазами оператора и экраном видеодисплея должно составлять 40 - 80 см. Так же рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество. Рабочий стул должен иметь дизайн, исключаящий онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте.

Вывод

В процессе выполнения задания к данному разделу было произведено детальное описание рабочего места, а именно место работы оператора ПК, с выявлением вредных и опасных воздействий факторов производственной среды (шум, микроклиматические показатели, излучение, электрический ток). После чего, был произведен анализ выявленных вредных и опасных воздействий, с указанием механизма их воздействия на организм и допустимых норм воздействия. С учетом перечня возможных ЧС на объекте были разработаны меры как по устойчивости к ЧС, так и по ликвидации ее последствий. Так же были рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Список использованных источников

1. В.Ю. Конюхов. Перспективы использования топливных пеллет для развития экономики иркутской области / В.Ю. Конюхов, К.С. Бушуев // Молодежный вестник ИРГТУ. – 2017. - №3. – С. 12-15
2. А.А. Ермаков. Автоматизированная система управления отоплением в частном доме / А.А. Ермаков, Н.К. Волков // Сборник научных трудов кафедры автоматики и промышленной электроники. – 2016. - №1. – 51-55
3. СНиП 2.04.02-84 п. 2.26
4. А.А. Ермаков. Автоматизированная система управления отоплением в частном доме / А.А. Ермаков, Н.К. Волков // Сборник научных трудов кафедры автоматики и промышленной электроники. – 2016. - №1. – 51-55
5. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздухоудных установках – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 560 с.
6. We Li, Xiaoguang, «Application of hybrid fuzzy logic proportional plus conventional integral – derivative controller to combustion control of stoker – fired boilers», *Fuzzy sets and systems*, pp. 267-284, 1996.
7. Vjekoslav Galzina, Tomislav Šarić, Roberto Lujčić, « APPLICATION OF FUZZY LOGIC IN BOILER CONTROL», *Primjena neizrazite logike u vodenju kotla*, pp. 15 – 21, 2008.
8. СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. М.: Минздрав России, 1997.
9. ГОСТ 12.4.021-75 ССБТ. Системы вентиляционные. Общие требования
10. СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
11. СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение».
12. Расчет искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех специальностей. - Томск: Изд. ТПУ, 2004. - 15 с.

13. СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно – эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно – вычислительным машинам и организации работы». – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.
14. СанПиН 2.2.4.1191 – 03. Электромагнитные поля в производственных условиях. М.: Минздрав России, 2003.
15. Правила устройства электроустановок. – Седьмое издание. Дополненное с исправлениями. – Н.: Сиб. Унив. Изд-во, 2007.
16. Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009, №1116 (с изменениями от 24.12.2014) «Об организации сбора, вывоза, утилизации и переработки бытовых и промышленных отходов на территории муниципального образования «Город Томск»
17. Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681 «Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств»
18. Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 28.12.2013 г. №123
19. Федеральный закон «О специальной оценке условий труда» от 28.12.2013 г. №426
20. «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 05.02.2018)
21. НПБ 105-03, Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности, 2003

Публикации

1. Тубденов Ж.Б., Шилин А.А. Разработка автоматизированной системы управления твердотопливным котлом // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири, Иркутск, 24-28 апреля 2018. – Иркутск: ИРНИТУ, 2018 - с. 4-9.

Optimization of the solid – fuel boiler control system

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Ж	Тубденов Жаргал Баторович		

Консультант отделения электроэнергетики и электротехники ИШЭ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Образцов К.В.			

Консультант – лингвист отделения ИЯ ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Соколова Э.Я.			

Introduction

In Siberia, as in many other regions where heating systems of buildings require significant amount of fuel and energy resources, it is necessary that these systems should operate at qualitatively high level. It means that the amount of heat supplied to each building room for keeping a comfortable temperature regime should be determined by the current need. As the gasification of eastern regions of Siberia is not planned in the nearest future, the problem of heat supply to remote areas is quite urgent. The most often used types of fuel for furnaces in the houses, which do not have centralized connection, are firewood and coal that have a low efficiency factor. Therefore, the proposal of boilers with an automatic control system as alternative to obsolete furnaces with the same fuel (coal, wood dust, fuel pellets that is produced more and more every year) is relevant.

The complex automation of the heating system includes local and remote control of the coolant parameters in the heat station, individual control of the heat supply from the heating devices of the system, and automatic maintenance of the set temperature in the pipeline network of the system. Individual regulation allows first, maintain a comfortable air temperature in the heated rooms at the level set by the consumer. Secondly, it saves more than 20% of the thermal energy by reducing the air temperature at night hours and during periods when the building is not in operation. In third place, it allows reducing the amount of emissions into the atmosphere of combustion products of fuel consumed for the generation of thermal energy.

When developing automation of heating systems, it should be noted that heating control could be implemented by temperature, parameters of coolant, air in the house. Control systems built to control the temperature of the coolant work with high process of inertia, low efficiency and low economy. The best results are represented by the automatic heating system, which provides temperature maintenance in the house.

Measured process variables

- Output temperature T_{out} ;
- Coolant temperature T_{cool} ;
- Screw conveyor temperature T_{sc} .

$U_{control}$ is predetermine a value of control signal to frequency controller. It doesn't require high speed response, since the temperature rise is quite long. The range and accuracy of regulation are low. In this connection, a decision is made to use scalar control. Therefore, it is solved to use scalar control. Insurge influence in this case is the moment of inertia of motor (J). The impeller is fixed to the shaft, its moment of inertia is small, so we can neglect it.

The main quality criteria and objectives of process control, shown in the drive structure:

- Scalar control;
- Diagnostics of electric motor and frequency converter;
- Data exchange with the dispatch center;
- Requirements of safety standards;
- Standards for resistance to various impacts.

Design of the automatic control systems of an object

System can be divided into three levels (Figure 1).

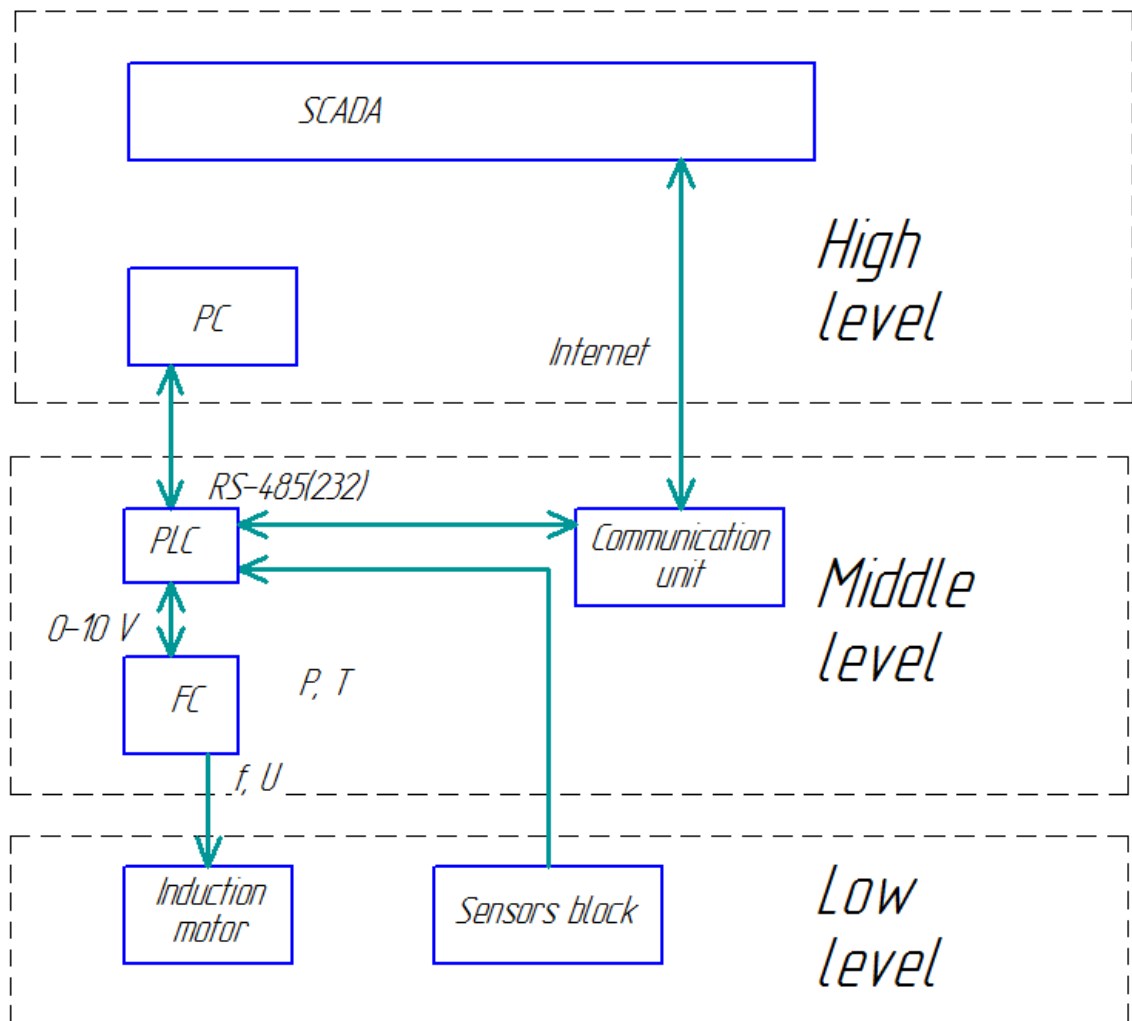


Figure 1 – Hierarchy of APCS

Hierarchy of APCS has three levels:

Low level – level of sensors and motors

Middle level – level of logic controllers and communication units

High level – operator's personal computer or Supervisory Control and Data Acquisition system (SCADA)

Communication between hardware units is as follows:

- The analog signal from the sensor is fed to ADC of the controller, which appears to be processed. The system uses scalar control. Motor speed will be determined by the frequency converter setting the voltage and frequency.
- The controller will communicate with a high level by RS-485 (232) interface if built on ModBus RTU protocol. The system has an internet controller

which makes a connection with SCADA for remote operation. There are basic requirements to recuperation system.

Programmable logic controller

Programmable logic controller (PLC) “VEST - 02” selected as a device of control. The controller has a low price and high speed of operations (Figure 2).

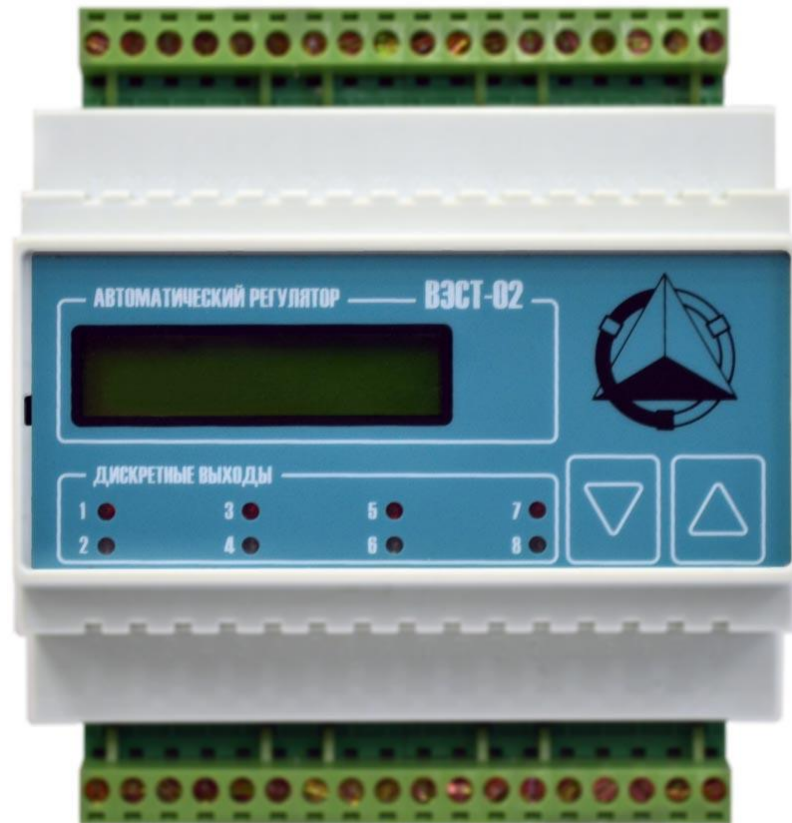


Figure 2 – PLC “VEST - 02”

This controller is programmed in software environment AKIAR developed by experts of LLC “VEST”.

The Internet is accessed via server in communicator “VEST – 1C” (Figure 3).



Figure 3 – Communicator “VEST – 1C”

This device will allow remotely connect to the equipment using a SCADA system with a web interface from any device that can go online.

Development of mathematical models of technological process and technological equipment with executive electric drives

The software MatLab Simulink is used to obtain the simulation model in this work. Using simple arithmetic expressions for each differential equation of the system, it is necessary to build a mini-model that will show the temperature of the water at some point in the system. Besides simple arithmetic blocks, the integrating units of “Transfer Fcn”, constants and blocks of the oscilloscope “Scope” are used during the simulation. Differential equations represent simple aperiodic units.

The unit that characterizes the heating of the coolant in the circulation pipes of the boiler is represented as a transfer function with a time constant of 500 seconds:

$$W(s) = \frac{1}{1 + 500s}$$

The heat exchanger, as a connecting element between the first and second circuits, has a time constant of 1250 seconds.

$$W(s) = \frac{1}{1 + 1250s}$$

The reason for using such a time is the design feature of the heat exchanger. I use efficiency factor that is equal 0.9 because of the heat transfer process without direct contact of the heated water of the primary circuit with the second one.

These values of the time constants are selected from the description of the temperature set curves presented by the specialists of LLC “NPO VEST”.

Models of the boiler and the heat exchanger are shown in Figure 4, where

Q – thermal energy of the boiler unit;

$t_{working}$ – operating temperature of the coolant in the second circuit.

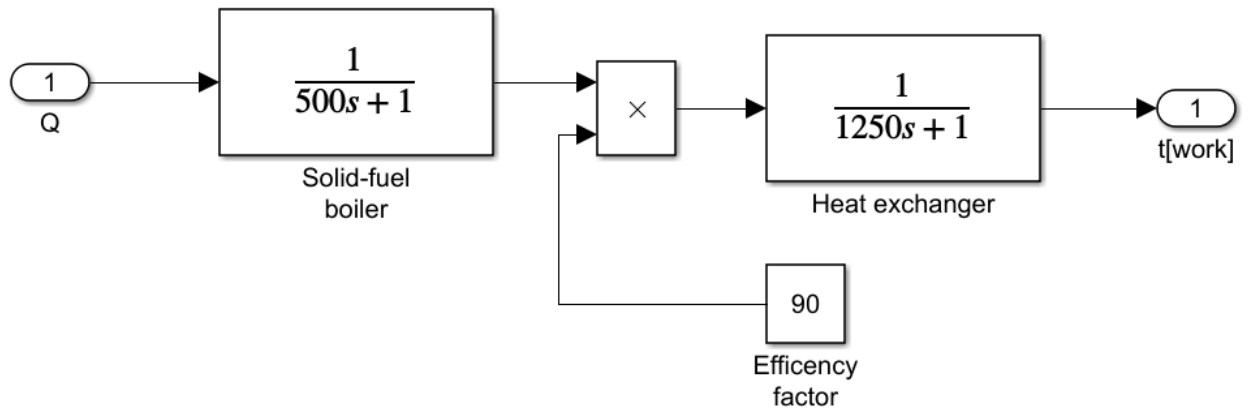


Figure 4 - Mathematical models of a boiler and the heat exchanger

Solid-fuel boilers and heat transfer units as heat exchange systems have a high value of lag effect, which is the reason for the use of large time constants. A radial fan driven by an induction motor and controlled by a frequency converter with scalar control is the main unit of the electric drive that is discussed in this paper.

As transients in an electric motor and frequency converter are incommensurably slow in comparing with the processes of temperature rise and fall, the mathematical model of the system "frequency converter - induction motor" is simplified to a block of two units.

The frequency converter is simplified to an aperiodic first-order unit with a time constant $T_n = 0.2$ seconds, and an induction motor with an oscillating unit with time constants, $T_{ad1} = 0.19$ seconds and $T_{ad2} = 0.04$ seconds (Figure 5).

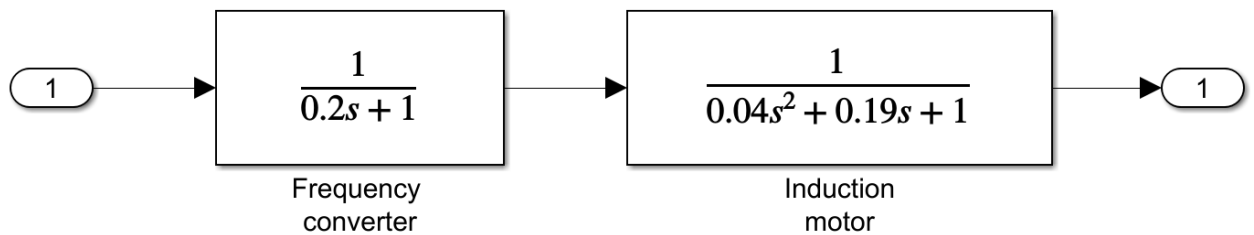


Figure 5 - Block describing the operation of the FC (frequency converter) -IM (induction motor) in the system

Development of algorithms for the performance of operation system of processing equipment

The main actuation unit is a radial fan driven by an induction motor with a squirrel-cage rotor, which sends necessary amount of air into the combustion chamber to maintain the burning of solid fuel.

The boiler control scheme developed in Simulink MATLAB is based on the logic elements of this environment and operates according to the error principle between the set and actual values of the coolant temperature.

The boiler operating mode depends on the value of error: at a positive value, the boiler is in the mode of temperature growth.

After equalizing the set temperature, the boiler enters the mode of maintaining heat – that is waiting mode. The general structural circuit of the boiler is shown in Figure 6.

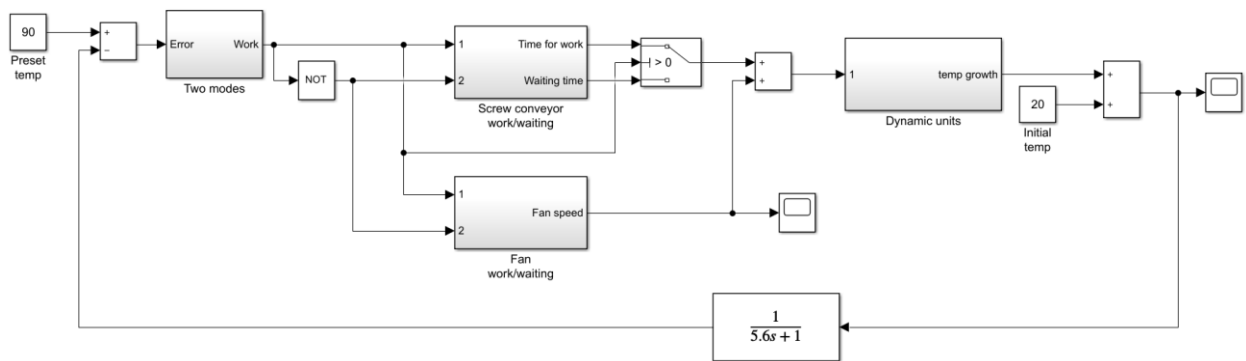


Figure 6 - General structural circuit of a solid fuel boiler

Switching network, between modes depending on the error is shown in Figure 7.

The heating process is rather slow, but because of lag effect, the temperature of the coolant can exceed the set value. Utilization of hysteresis temperature $T_{hyst} = 3.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ with deducting it from value of error, allows entering to waiting mode before reference temperature is reached.

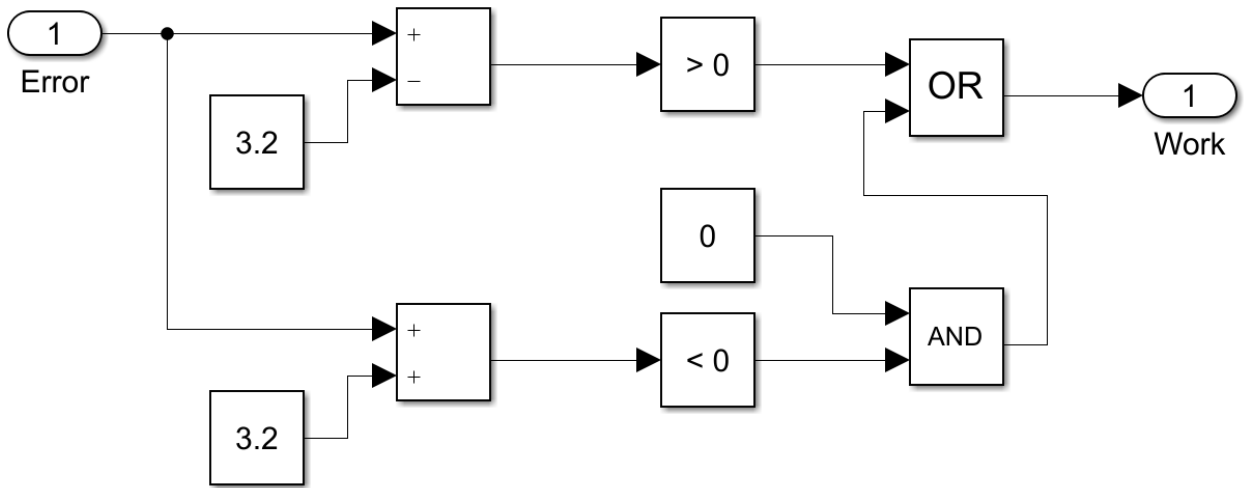


Figure 7 – Switching network between operating modes

The difference between the operating modes of the boiler is the difference in the pause time between fuel rates at a constant speed into the furnace using a screw conveyor and air by a variable speed fan.

In the operating mode, the fuel delivery time is $t_{sc1} = 4,5$ s, and the pause time is $t_{ps1} = 45$ s. The fan continuously supplies air to the furnace, the speed of its rotation is $\omega_{v1} = 50$ rad / s. The modeled scheme shown in Figure 8; 10, implements these processes with set parameters using an integrator that resumes work after a specified time. The diagram of signal of the screw is shown in Figure 9.

In the waiting mode, when the set temperature is reached, the pause time between the dosed fuel feeds to $t_{ps2} = 300$ s is increased, the fan starts to work alternately with the on-time $t_w = 4.5$ s and the pause $t_{psv} = 300$ s and the rotation speed $\omega_{v2} = 15$ rad / s.

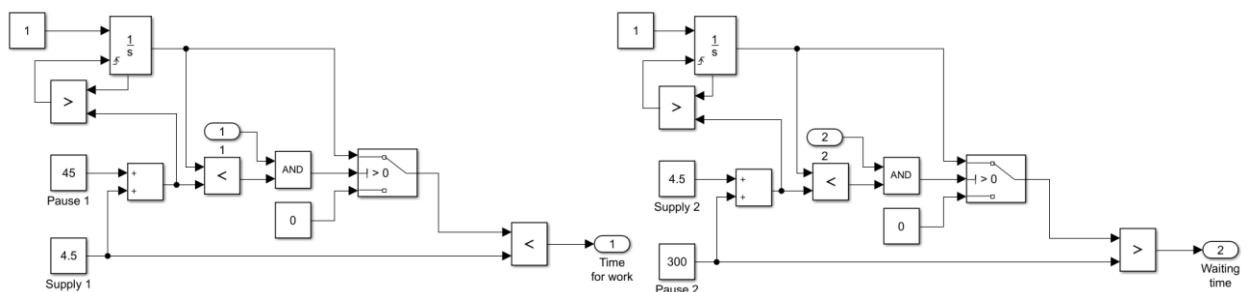


Figure 8 – Screw feeding control circuit

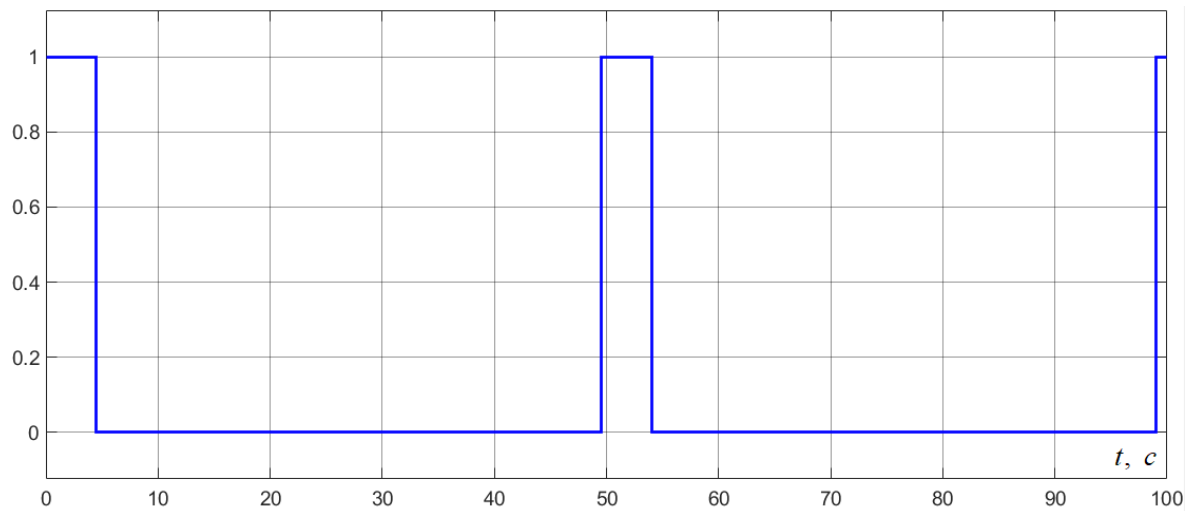


Figure 9 – Diagram of the signal fed to the screw in the operating mode

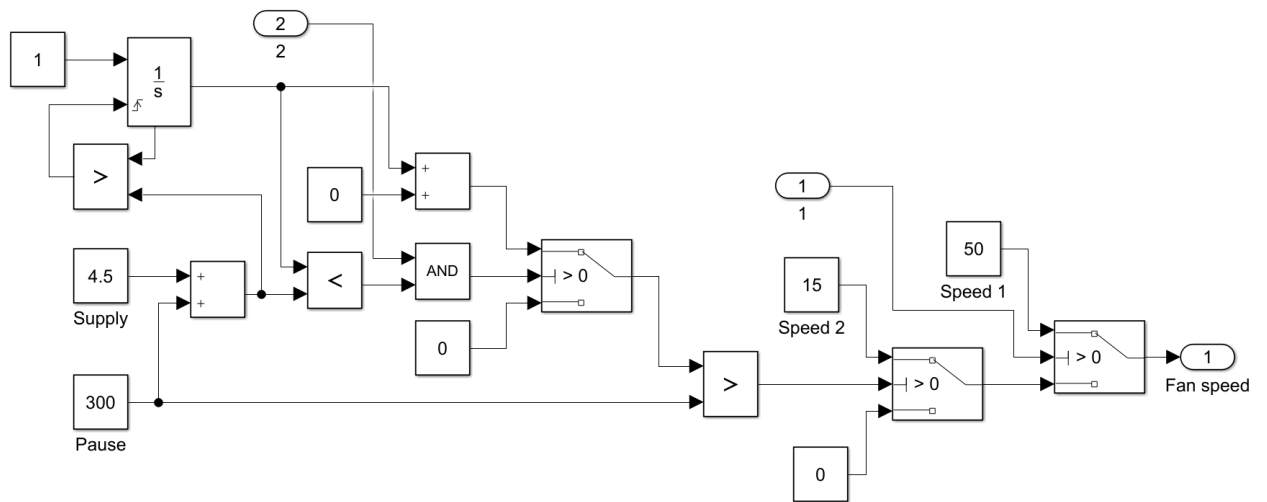


Figure 10 – Screw feeding control circuit

The control scheme of the boiler (Figure 11) in the event of an emergency mode is also built on the basis of the logical elements of the Simulink library. It compares the signals from the temperature sensors of the coolant and the screw conveyor - if these values are exceeded, the system makes a decision to blow the fuel out of the furnace and emptying the screw, respectively.

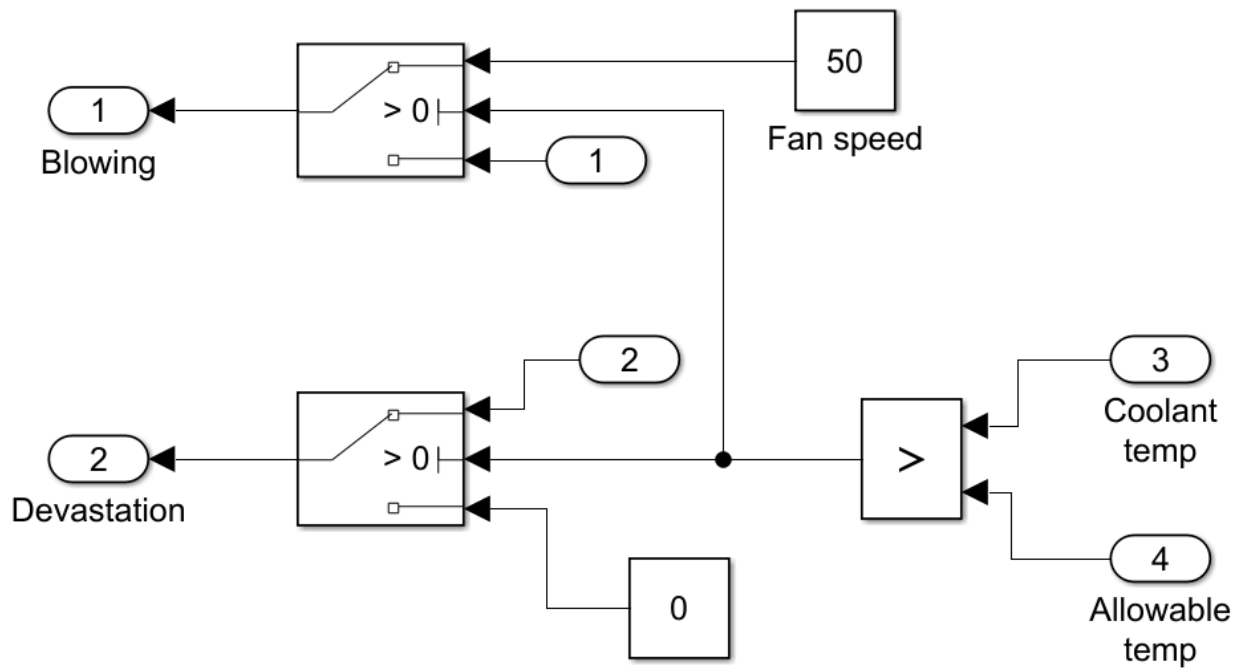


Figure 11 - Boiler control diagram in the event of an emergency operation

The result of the simulation in Figure 12 is the diagram of the temperature growth of the coolant T . The temperature of the task $T_t = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ is reached in approximately 30 minutes, and the boiler keeps it, going into waiting mode.

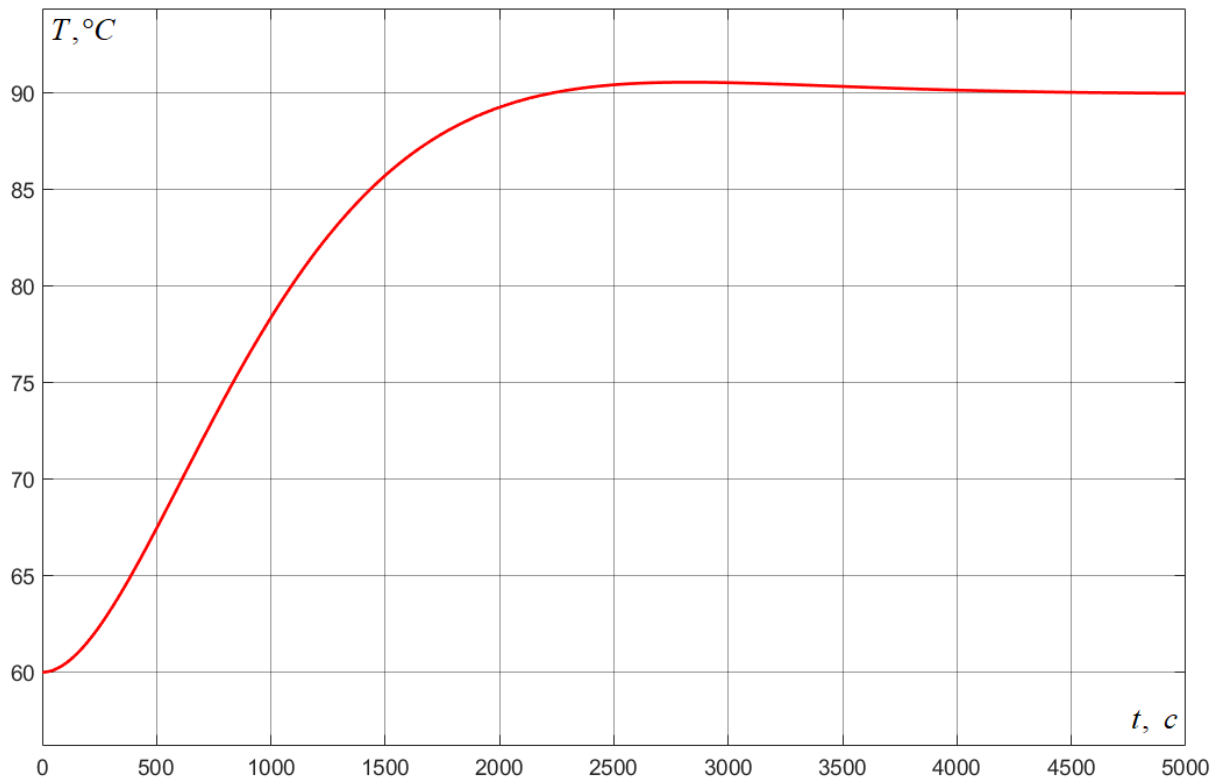


Figure 12 - Diagram of temperature rise in boiler coolant

The dynamic model of the automated control system for a solid fuel boiler takes into account the current temperature of coolant, and according to it, delivers a work signal to the fan motor and screw conveyor. In case of exceeding the permissible temperatures of the coolant and the screw conveyor, the system takes measures to exit the emergency mode described above. For this reason, the built-up dynamic model can be considered as a good alternative to obsolete individual heating systems.

Conclusion

The main purpose of this paper is optimization of the control system for solid fuel boilers by developing control algorithms based on the logic elements of a fan and a screw conveyor. Based on the data on solid fuel boilers provided by specialists from LLC “NPO VEST”, the engineering solution for modernization is proposed.

The data from the temperature sensors of the coolant and screw conveyor is taken into consideration during implementing the project with utilization of Matlab Simulink.

Программируемый логический контроллер ВЭСТ – 02

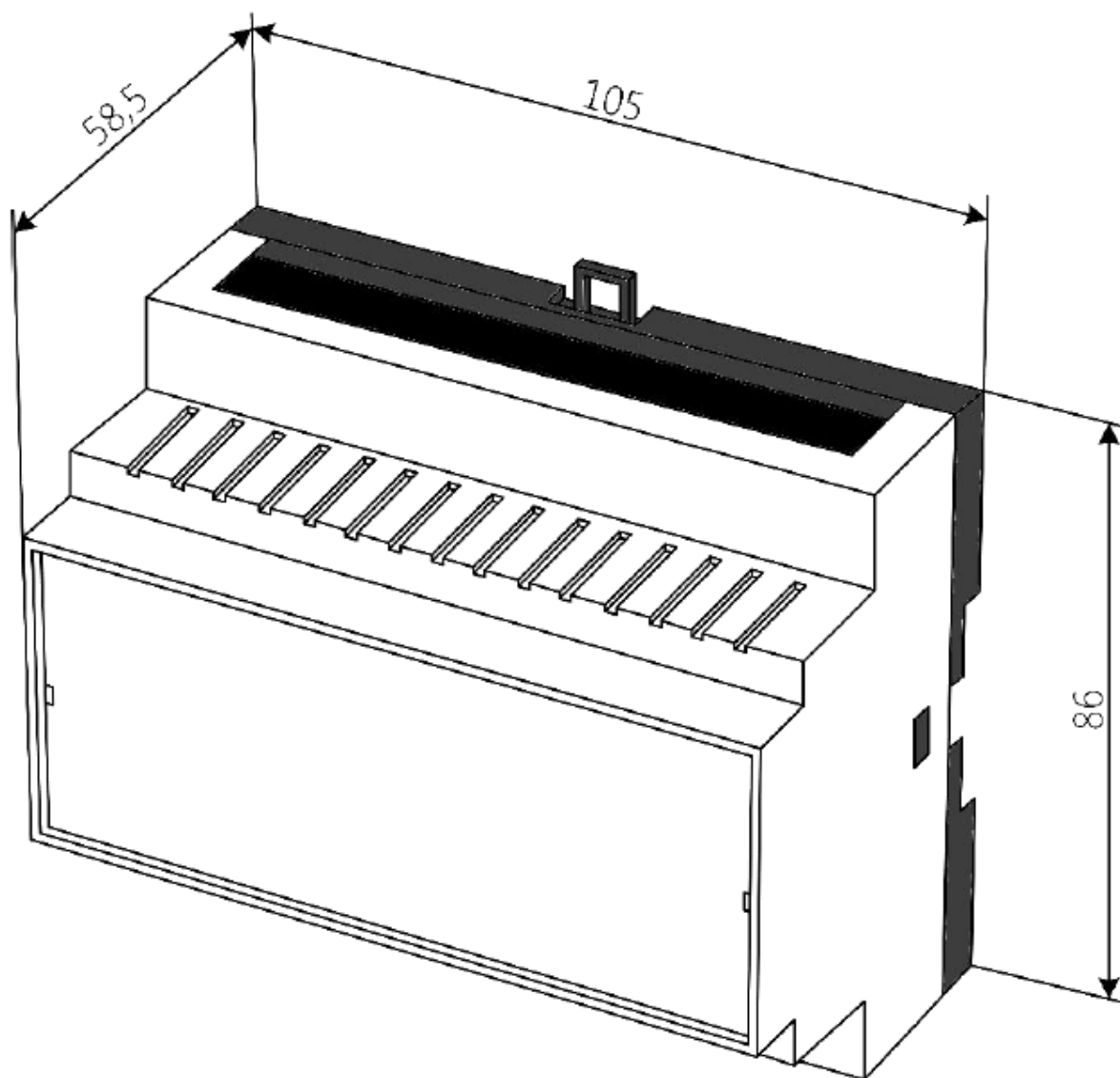


Рисунок Б.1 – Габаритные размеры контроллера

Верхняя клеммная колодка

19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
PWM0	PWM1 0-10	PWM2	PWM3 0-10	GND	AI0	AI1	AI2	AI3	AI4	AI5	AI6	AI7	DI0	DI1	DI2	DI3	DI4

Нижняя клеммная колодка

+ 3.3 V	RS-485 A	RS-485 B	GND	RS-232 Tx	RS-232 Rx	DO0	LO1	DO1	DO2	L23	DO3	DO4	L45	DO5	N		L
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Рисунок Б.2 – Схема расположения клеммных соединителей

Таблица Б.1 – Основные технические характеристики прибора

Наименование характеристики	Значение
Напряжение питания переменного тока	От 187 до 242 В
Потребляемая мощность, ВА	3
Диапазон контроля, °С	От минус 50 до плюс 150
Абсолютная погрешность, °С	±1
Тип входных ДТС	Pt1000
Количество аналоговых входов	8
Количество дискретных входов	5
Количество симисторных входов	6
Тип интерфейса связи	RS-232, RS-485

Параметры MOXA NPort 5150

1-портовый асинхронный сервер RS-232/422/485 в Ethernet

- Количество портов 1
- Тип портов RS-232/422/485
- Передаваемые сигналы RS-232: Tx, Rx, RTS, CTS, DTR, DSR, DCD, GND
- RS-422: Tx+, Tx-, Rx+, Rx-, GND
- RS-485 (2-проводный): Data+, Data-, GND
- RS-485 (4-проводный): Tx +, Tx-, Rx +, Rx-, GND
- Управление направлением передачи данных по RS-485ADDC® (автоматическое)
- Резистор Pull High/Low для RS-485 1 кОм, 150 кОм

Приложение Г

Таблица Г.1 - Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов			Исполнители по категориям			Трудо-емкость, чел.- дн.			Зароботная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.			Всего зароботная плата по тарифу (окладам), тыс. руб		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Составление и утверждение технического задания			Нау чны й руко води тель	Научн ый руково дитель	Нау чны й руко води тель	1,4	6,2	2,8	2308,91	2308,91	2308,91	3232,47	14315,24	6464,94
					Инжен ер						1848,18			11458,71	
2	Подбор и изучение материалов по теме			Нау чны й руко води тель	Научн ый руково дитель	Нау чны й руко води тель	1,4	6,2	3,4	2308,91	2308,91	2308,91	3232,47	14315,24	7850,29
					Лабора нт						1206,56			7480,67	
3	Выбор направления исследований			Нау чны й руко води тель	Научн ый руково дитель	Нау чны й руко води тель	1,8	5,6	1,8	2308,91	2308,91	2308,91	4156,03	12929,89	4156,03
					Инжен ер						1848,18			10349,80	
4	Календарное планирование работ по теме			Лаб оран т	Лабора нт	Лаб оран т	1,4	1,4	3,2	1206,56	1206,56	1206,56	1689,18	1689,18	3860,99
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований			Инж енер	Инжен ер	Инж енер	5,6	11,6	5,6	1848,18	1848,18	1848,18	10349,80	21438,88	10349,80
					Лабора нт						1206,56			13996,09	
6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов			Инж енер	Инжен ер	Инж енер	32,8	32,8	7,4	1848,18	1848,18	1848,18	60620,30	60620,30	13676,53
				Лаб оран т	Лабора нт	Лаб оран т				1206,56	1206,56	1206,56	39575,16	39575,16	8928,54
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими данными			Инж енер	Научн ый руково дитель	Инж енер	5,8	14	5,8	1848,18	2308,91	1848,18	10719,44	32324,74	10719,44
					Инжен ер						1848,18			25874,52	
8	Оценка эффективности полученных результатов			Инж енер	Научн ый руково дитель	Инж енер	2,4	9,2	2,4	1848,18	2308,91	1848,18	4435,63	21241,972	4435,632
					Инжен ер						1848,18			17003,256	
9	Составление пояснительной записки			Инж енер	Инжен ер	Инж енер	5,2	9,8	5,2	1848,18	1848,18	1848,18	9610,53	18112,16	9610,53
10	Публикация полученных результатов			Инж енер	Инжен ер	Инж енер	3,4	3,4	3,4	1848,18	1848,18	1848,18	6283,81	6283,81	6283,81
Итого:													153904,9	322725,86	86336,58